

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені Ігоря Сікорського»
(повне найменування вищого навчального закладу)

ІНЖЕНЕРНО - ХІМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматизації хімічних виробництв
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ А.І.Жученко
«__» _____ 20__ р

Дипломний проект
на здобуття ступеня бакалавра

з напрямку підготовки **6.050202 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології**

на тему: Система керування конденсатором в технологічному процесі
виробництва азотної кислоти

Виконав (- ла): студент (- ка) 4 курсу, групи ЛА – 51
(шифр групи)

_____ Торкін Андрій Сергійович _____
(прізвище, ім'я, по-батькові) (підпис)

Керівник _____ к. т. н., доц. Черьопкін Є.С. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант Охорона праці к. т. н., доц. Ковтун І. М. _____
(назва розділу) (посада, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що в цьому дипломному
проекті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань
Студент _____
(підпис)

Київ - 2019 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»
ім. І. Сікорського**

Інститут (факультет) Інженерно-хімічний факультет
(повна назва)

Кафедра Автоматизації хімічних виробництв
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки 6.050202 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ А.І. Жученко
(підпис) (ініціали, прізвище)

« ____ » _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Торкіну Андрію Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Система керування конденсатором в технологічному процесі виробництва азотної кислоти,

керівник проекту Черьопкін Євгеній Сергійович, к. т. н.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «12» травня 2019 р. № 1525

2. Термін подання студентом проекту _____

3. Вихідні дані до проекту технологічний процес виробництва азотної кислоти під тиском 0.73МПа, холодильник для конденсації нітрозних газів, що має забезпечувати вихідну температуру газів у 320.15 К

4. Зміст пояснювальної записки

Аналіз технологічного процесу отримання азотної кислоти;
Автоматизація технологічного процесу виробництва азотної кислоти;
Математичне моделювання конденсатора у технологічному процесі отримання азотної кислоти;
Синтез та дослідження системи керування конденсатором; охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) Схема автоматизації процесу виробництва азотної кислоти під тиском 0.73МПа

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Ковтун І.М., доцент		

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Аналіз процесу виробництва азотної кислоти	15.04.2019	
2	Отримання математичної моделі конденсатора	10.05.2019	
3	Дослідження статичного і динамічного режимів об'єкта керування	20.05.2019	
4	Синтез системи керування	03.06.2019	
5	Охорона праці	05.06.2019	

Студент

(підпис)

Торкін А.С.
(ініціали, прізвище)

Керівник проекту

(підпис)

Черьопкін Є.С.
(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Бакалаврський проект містить дослідження процесу виробництва азотної кислоти, його математичне моделювання, дослідження температурних режимів процесу, побудову спрощеної математичної моделі та синтез системи керування конденсатором та оформлена у записку об'ємом 63 сторінки.

Пояснювальна записка містить 63 сторінки, 35 рисунків, 3 таблиці, 6 літературних джерел.

У бакалаврському проекті об'єктом дослідження є процес виробництва азотної кислоти.

Предметом дослідження є математична модель, температурні режими, спрощена математична модель процесу виробництва азотної кислоти та системи керування процесом.

Досліджено технологічний процес виробництва азотної кислоти з точки зору завдання автоматизації, проведено математичне моделювання конденсатора, досліджено температурні режими його роботи, побудовано спрощену математичну модель процесу.

Розроблено систему керування конденсатором нітрозних газів з використанням П, ПІ та ПІД-регуляторів.

Проведено порівняльний аналіз роботи розроблених систем з існуючими і встановлено ефективність запропонованих рішень.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: азотна кислота, конденсація, конденсатор, нітрозні гази, математична модель, спрощена математична модель.

ESSAY

The bachelor project includes research on the process of nitric acid production, its mathematical modeling, the study of the temperature regimes of the process, the construction of a simplified mathematical model and the synthesis of a control system for the process of nitric acid production, and is drawn up in a note of 63 pages. Explanatory note contains 35 drawings, 3 tables and 6 literary sources.

In the bachelor project, the object of research is the process of nitric acid production. The subject of the study is a mathematical model, temperature regimes, a simplified mathematical model of the process of nitric acid production, and a synthesis of process control systems.

The bachelor project explores the technological process of nitric acid production, conducts mathematical modeling of the process, studies temperature regimes, and constructs a simplified mathematical model of the process.

The bachelor's project has developed an algorithm for managing the process of nitric acid production.

The comparative analysis of using developed control systems is carried out and described effectiveness of the proposed solutions

KEYWORDS: nitric acid, condensation, condensator, nitrogenous gases, mathematical model, simplified mathematical model.

ЗМІСТ

Вступ.....	8
Розділ 1. Аналіз технологічного процесу отримання азотної кислоти	9
1.1. Опис технологічного процесу отримання азотної кислоти.....	10
1.2. Аналіз процесу отримання азотної кислоти, як об'єкту автоматичного керування.....	11
1.3. Постановка задач дипломного проектування	14
Розділ 2. Автоматизація технологічного процесу виробництва азотної кислоти	15
2.1. Розробка схеми автоматизації.....	16
2.2. Розробка схеми технологічної сигналізації та аварійного захисту ..	18
2.3. Розробка монтажно-комутаційної схеми	21
Розділ 3. Математичне моделювання конденсатора у технологічному процесі отримання азотної кислоти.....	24
3.1. Аналіз конденсатора, як об'єкту автоматичного керування	24
3.2. Моделювання статичного режиму.....	26
3.3. Моделювання динамічного режиму в дискретній формі	27
3.4. Алгоритм розрахунку математичної моделі конденсатора	29
3.5. Результати математичного моделювання	30
Розділ 4. Синтез та дослідження системи керування конденсатором.....	41
4.1 Постановка задачі для системи керування.....	41
4.2. Налаштування П регулятора	45
4.3. Налаштування ПІ регулятора	48
4.4. Налаштування ПІД регулятора	51
Розділ 5. Охорона праці	54
5.1. Повітря робочої зони.....	54
5.2. Виробниче освітлення.....	56

					ДП.АХТП.ЛА5121.ПЗ			
<i>Змн</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Система керування конденсатором в технологічному процесі виробництва азотної кислоти</i>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Архувів</i>
<i>Розроб</i>		<i>Торкін А.С.</i>						
<i>Перев</i>		<i>Червопкін С.С.</i>					<i>6</i>	<i>63</i>
<i>Реценз</i>						<i>НТУУ “КПІ ім. Ігоря Сікорського”, ІХФ, ЛА-51</i>		
<i>Н.Контр.</i>								
<i>Затв.</i>		<i>Жученко А. І.</i>						

5.3. Виробничий шум	56
5.4. Електронбезпека	57
5.5. Пожежонебезпека	59
Висновок.....	62
Список використаних джерел	63

					ДП.АХТП.ЛА5121.ПЗ	Лист
						7
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ВСТУП

За об'ємом виробництв мінеральних кислот азотна кислота займає друге місце. Сучасна азотна промисловість є важливим виробництвом галузі хімічного виробництва. Вона розвивається на базі новітніх досягнень науки і техніки. Азотна промисловість використовує потужні та досконалі контактні та холодильні апарати, компресори, ректифікаційні колони, високотемпературні печі. Виробництво під тиском 0.73 МПа застосовують для збільшення концентрації азотної кислоти.

Метою даної роботи є ознайомлення з власне процесом синтезу азотної кислоти під тиском 0.73 МПа, огляд існуючих математичних моделей процесу синтезу азотної кислоти, дослідження температурного режиму синтезу азотної кислоти, розробка і дослідження математичної моделі процесу виробництва азотної кислоти та синтез системи керування процесом синтезу азотної кислоти під тиском 0.73 МПа, що забезпечить випуск готової продукції заданої якості при функціонуванні процесу синтезу у режимі ресурсо- та енергозбереження з урахуванням можливих непередбачуваних відключень енергоживлення.

					ДП.АХТП.ЛА5121.ПЗ	Лист
						8
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ АЗОТНОЇ КИСЛОТИ

Виробництво азотної кислоти складається з таких стадій: підготовка та компримування повітря; підготовка газоподібного аміаку з рекуперацією тепла реакції (отримання пари); охолодження нітрозних газів і абсорбцію оксидів азоту з отриманням азотної кислоти; каталітичне очищення хвостових газів від залишкових оксидів азоту.

Схема виробництва азотної кислоти під тиском 0,73 Мпа зображена на
рисунку 1.1.1:

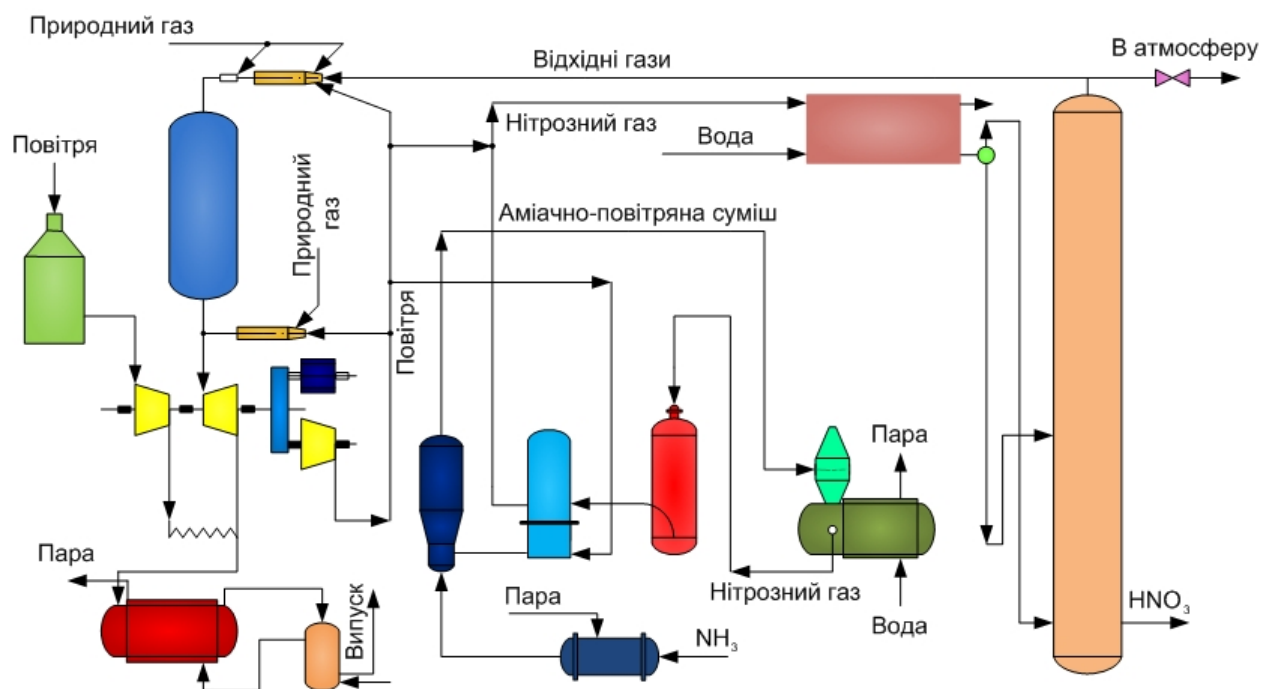


Рис. 1.1.1. Схема установки виробництва азотної кислоти під тиском 0,73 МПа

Атмосферне повітря спочатку очищується суконному фільтрі 1, потім промивається водою, відпрацьованою в холодильних апаратах виробництва. У першому ступені турбокомпресора 5 очищене повітря стискається, потім

					ДП.АХТП.ЛА5121.ПЗ	Лист
						9
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

охолоджується у водяному холодильнику 10 до 40...45 °С і стискається в другому ступені турбокомпресора 9 до кінцевого тиску 0,73 МПа.

Очищений газоподібний аміак під тиском 1.0...1,2 МПа підігрівається паром в підігрівнику 16 і надходить у змішувач 14, куди подається також повітря, нагріте до 270 °С нітрозними газами в теплообміннику 15. Отримана аміачно-повітряна суміш фільтрується повторно в поролітовому фільтрі 13 і надходить на каталізатор у конвертор 18.

Конверсія аміаку здійснюється за температури 790...800 °С. Тепло реакції окислювання аміаку використовується в котлі-утилізаторі 19 для одержання перегрітої пари.

Далі нітрозні гази проходять крізь фільтр для уловлювання платини, розміщений у верхній частині порожнистого апарата 17 - окиснювача. Температура газів після окиснювання NO підвищується, і це тепло частково використовується для підігрівання повітря в теплообміннику 15. Тут нітрозні гази охолоджуються до температури 175 °С. Більш глибоке використання тепла нітрозних газів не вигідне, тому вони додатково охолоджуються водою в заглибному холодильнику 20.

У конденсатору 20 одночасно з охолодженням нітрозних газів відбувається конденсація водяної пари. У результаті цього з конденсатора виходить приблизно 52 %-ва азотна кислота (до 50 % від загального виробітку).

На виході з холодильника кислота відокремлюється від газів і самотпливом спрямовується в абсорбційну колону 21. Від верхньої тарілки до нижньої концентрація кислоти збільшується, досягаючи на виході 55...56 %.

Після абсорбційної колони відхідні гази очищаються від оксидів азоту. Для цього їх спочатку підігрівають до температури 450...480 °С у топці 3 за рахунок тепла спалювання природного газу, потім у газову суміш додають певну кількість природного газу.

Для того щоб почався процес взаємодії CH_4 і $\text{NO} + \text{NO}_2$, суміш потрібно нагріти до температури запалювання, яка залежить від виду каталізатора у конверторі 2.

					ДП.АХТП.ЛА5121.ПЗ	Лист
						10
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Відхідні гази, що містять продукти розщеплення оксидів азоту з додаванням деякої кількості стиснутого повітря і проходять через газову турбіну 6, приводячи в дію турбокомпресор 9 для стискання повітря.

Топку 4 зазвичай використовують тільки під час пуску газової турбіни 6. Якщо турбіна дає більше енергії, ніж це потрібно турбокомпресору 9, її надлишок передається мотору-генератору 8, який відводить струм у мережу заводу. У турбіні 6 гази охолоджуються, а тиск знижується. Тепло що залишилося використовується в котлі-утилізаторі 11 і економайзері 12 для одержання перегрітої пари температурою 230 °С. При цьому гази охолоджуються та викидаються в атмосферу.

1.2 Аналіз процесу отримання азотної кислоти, як об'єкту автоматичного керування

На основі проведеного аналізу було встановлено, що необхідно передбачити автоматичний контроль таких параметрів технологічного процесу:

- тиск повітря на виході з турбокомпресора 5,
- температуру на виході з холодильника 10,
- тиск повітря на виході з турбокомпресора 9,
- тиск очищеного газоподібного аміаку на вході в підігрівник 16,
- температура нагрітого аміаку на вході в змішувач 14,
- температура конверсії аміаку,
- температура нітрозних газів на виході з окиснювача 17,
- витрата води на вході в холодильник конденсатор 20,
- температура нітрозних газів на виході з холодильника 20,
- концентрація азотної кислоти на виході з конденсатора,
- витрата вихідних газів в атмосферу,
- концентрація азотної кислоти на виході з ректифікаційної колони 21,
- витрати природного газу для очистки відхідних газів від оксидів азоту,
- температура газів на вході в конвертор 2,
- тиск газів на вході в газову турбіну 6,

					ДП.АХТП.ЛА5121.ПЗ	Лист
						11
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- тиск газів на виході з газової турбіни 6,
- температура газів на вході в котел-утилізатор 11,
- температура перегрітої пари на виході з котла-утилізатора 11,
- температура газів, що виходять в атмосферу.

А також технологічну сигналізацію:

- мінімального і максимального тиску аміаку на вході в підігрівник 16,
- мінімального і максимального значень температури конверсії,
- максимального значення рівня суміші у випарнику 3,
- концентрація конденсату що містить HNO_3 ,
- концентрація азотної кислоти на виході з ректифікаційної колони 21,
- мінімальної і максимальної температури на вході в конвертор 2.

Зазначені вище задачі, а також числові значення параметрів технологічного процесу зазначені у таблиці 1.2.1:

Таблиця 1.2.1. Параметри технологічного процесу конденсації

№ п/п	Найменування стадії процесу (технологічний об'єкт), місце заміру параметра	Найменування параметра, що контролюється чи регулюється	Норми технологічного режиму та допустимі відхилення	Вимоги до схеми автоматизації (контроль, регулювання, сигналізація)
1	2	3	4	5
1	Повітря, трубопровід	Тиск	-	Контроль
2	Повітря, трубопровід	Температура	40...45 °C	Контроль

3	Повітря, трубопровід	Тиск	0,73 МПа	Контроль
4	Аміак, Підігрівник	Тиск	1,0...1,2 МПа	Контроль, сигналізація
5	Аміак, Трубопровід	Температура	-	Контроль
6	Аміак, Конвертор	Температура	890...900 °С	Контроль, сигналізація
7	Нітрозні гази, трубопровід	Температура	-	Контроль
8	Вода, трубопровід	Витрата	-	Контроль
9	Нітрозні гази, трубопровід	Температура	-	Контроль
10	Конденсат, Трубопровід	Концентрація	-	Контроль, сигналізація
11	Відхідні гази, трубопровід	Витрата	-	Контроль
12	Азотна кислота, трубопровід	Концентрація	55...56 %	Контроль, сигналізація
13	Природний газ, трубопровід	Витрата	-	Контроль
14	Газова суміш, трубопровід	Температура	450...480 °С	Контроль, сигналізація
15	Газова суміш, трубопровід	Тиск	-	Контроль
16	Газова суміш, трубопровід	Тиск	-	Контроль
17	Газова суміш, трубопровід	Температура	-	Контроль

	трубопровід			
18	Перегріта пара, трубопровід	Температура	-	Контроль
19	Відхідні гази, трубопровід	Температура	-	Контроль

1.3. Постановка задач дипломного проектування

В ході проведення досліджень в рамках роботи над системою керування було поставлено наступні задачі:

1. На основі аналізу технологічного процесу розробити його схему автоматизації з забезпечення контролю та керування основними технологічними параметрами.
2. Розробити специфікацію устаткування та приладів для схеми автоматизації.
3. Провести математичне моделювання конденсатора нітрозних газів, як об'єкта з розподіленими параметрами, визначити його динамічні властивості.
4. Розробити програмне рішення для імітаційного моделювання роботи конденсатора.
5. З використанням методів оптимізації провести налаштування, П, ПІ та ПІД-регуляторів та визначити параметри якості їх роботи.
6. Розробити положення з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

РОЗДІЛ 2.

АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА АЗОТНОЇ КИСЛОТИ

2.1. Розробка схеми автоматизації

Основними задачами під час розробки схеми автоматизації процесу виробництва азотної кислоти є:

- Забезпечення засобами автоматизованого керування всіх технологічних апаратів і трубопроводів;
- забезпечення безпервного контролю і реєстрації усіх параметрів у ході виробництва;
- розробка контурів сигналізації і технологічних блокувань в, що є найбільш небезпечними;
- максимально зменшити імовірність аварії;

В ході виконання бакалаврського проекту, на основі поставлених задач було розроблено схему автоматизації процесу виробництва азотної кислоти під тиском 0,73 МПа включає в себе контури контролю, керування сигналізації, та технологічних блокувань.

До основних контурів контролю та керування входять контури контролю витрати, тиску та температури.

					ДП.АХТП.ЛА5121.ПЗ	Лист
						15
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

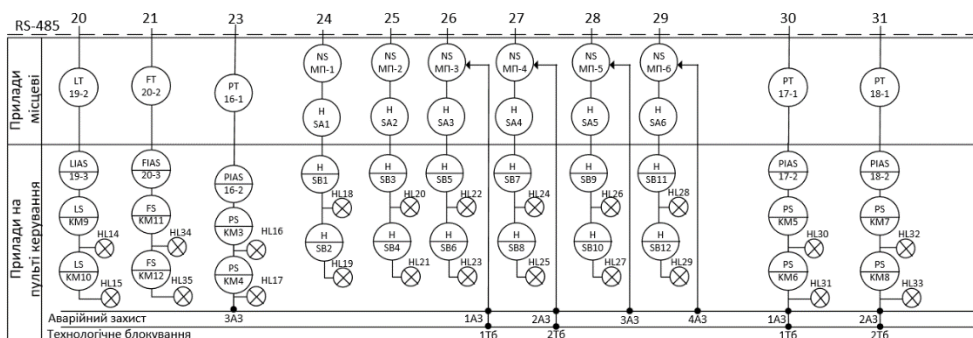
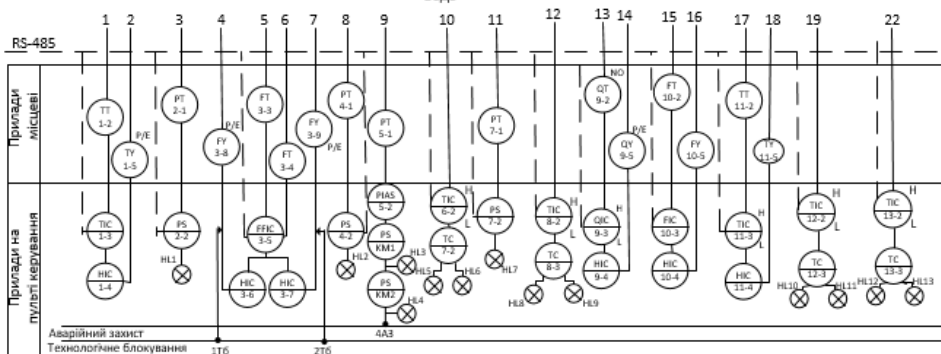
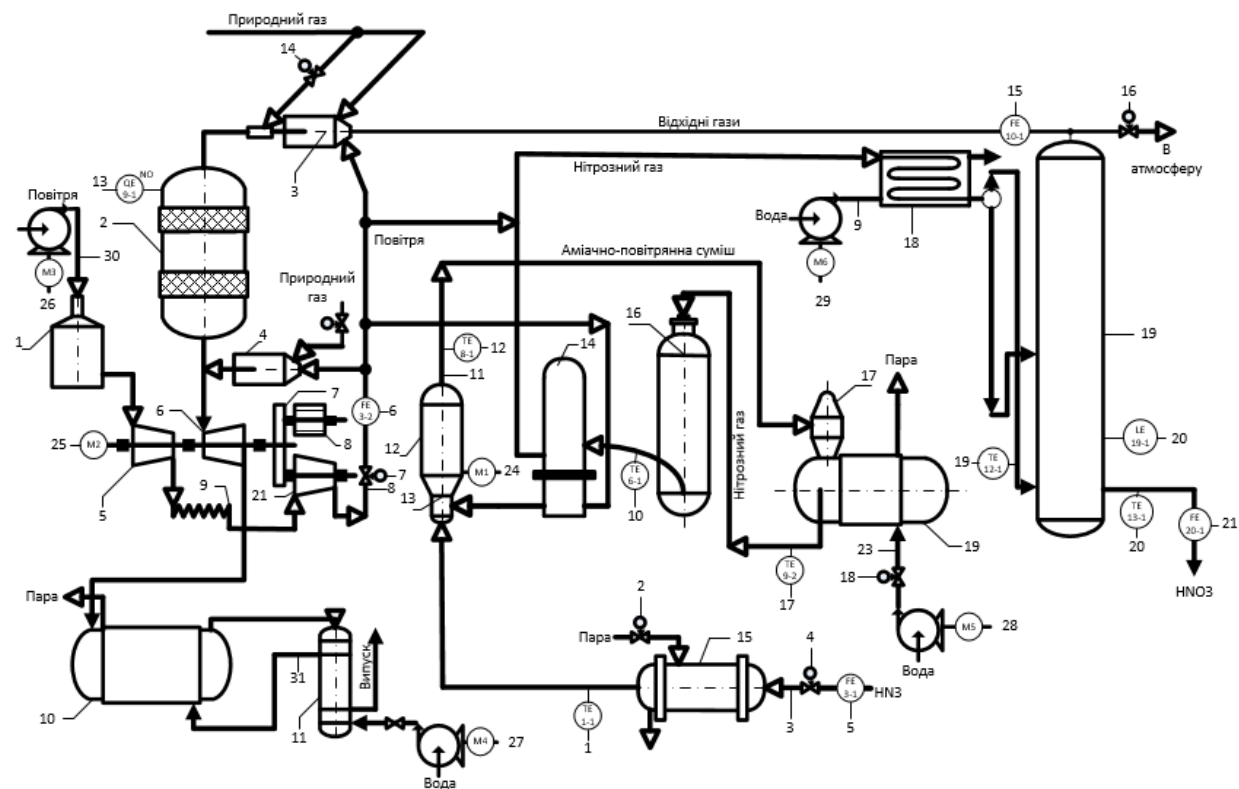


Рис. 2.1.1. Схема автоматизації виробництва азотної кислоти під тиском 0,73 МПа

Всього було розроблено 30 контурів контролю, керування, сигналізації та технологічних блокувань. Нижче наведено їх перелік і задачі, що вони розв'язують:

- Контур 1. Контроль температури аміаку на виході з підігрівача
- Контур 2. Регулювання витрати пари на вході в підігрівач аміаку
- Контур 3. Контроль тиску аміаку на вході в підігрівач аміаку
- Контур 4. Регулювання витрати аміаку на вході в підігрівач аміаку
- Контур 5. Контроль витрати аміаку на вході в підігрівач аміаку
- Контур 6. Контроль витрати повітря на виході з фільтра
- Контур 7. Регулювання витрати повітря на виході з фільтра
- Контур 8. Контроль тиску повітря на виході з фільтра
- Контур 9. Контроль тиску води на вході в конденсатор
- Контур 10. Контроль температури нітрозних газів на виході з окиснювача
- Контур 11. Контроль тиску аміачно-повітряної суміші на виході з поролітового фільтру
- Контур 12. Контроль температури аміачно-повітряної суміші на виході з поролітового фільтру
- Контур 13. Контроль концентрації оксидів азоту в конверторі
- Контур 14. Регулювання витрати природного газу на вході в топку 3
- Контур 15. Контроль витрати відхідних газів
- Контур 16. Регулювання витрати відхідних газів
- Контур 17. Контроль температури нітрозних газів на виході з конвертора
- Контур 18. Регулювання витрати води на вході в котел-утілізатор
- Контур 19. Контроль температури нітрозних газів на вході в колону
- Контур 20. Контроль рівня нітрозних газів на в колоні
- Контур 21. Контроль витрати азотної кислоти на виході з колони
- Контур 22. Контроль температури азотної кислоти на виході з колони
- Контур 23. Контроль тиску води на вході в котел-утілізатор
- Контур 24. Контроль електродвигуна насоса 1.
- Контур 25. Контроль електродвигуна насоса 2.
- Контур 26. Контроль електродвигуна насоса 3.
- Контур 27. Контроль електродвигуна насоса 4.

- Контур 28. Контроль електродвигуна насоса 5.
 Контур 29. Контроль електродвигуна насоса 6.
 Контур 30. Контроль тиску повітря на вході в фільтр

2.2. Розробка схеми технологічної сигналізації та аварійного захисту

Принципова електрична схема з дистанційного керування вмикання та вимикання живлення при роботі електромоторів та їх технологічних блокувань процесу виробництва азотної кислоти знаходиться на рис. 1.2.1.

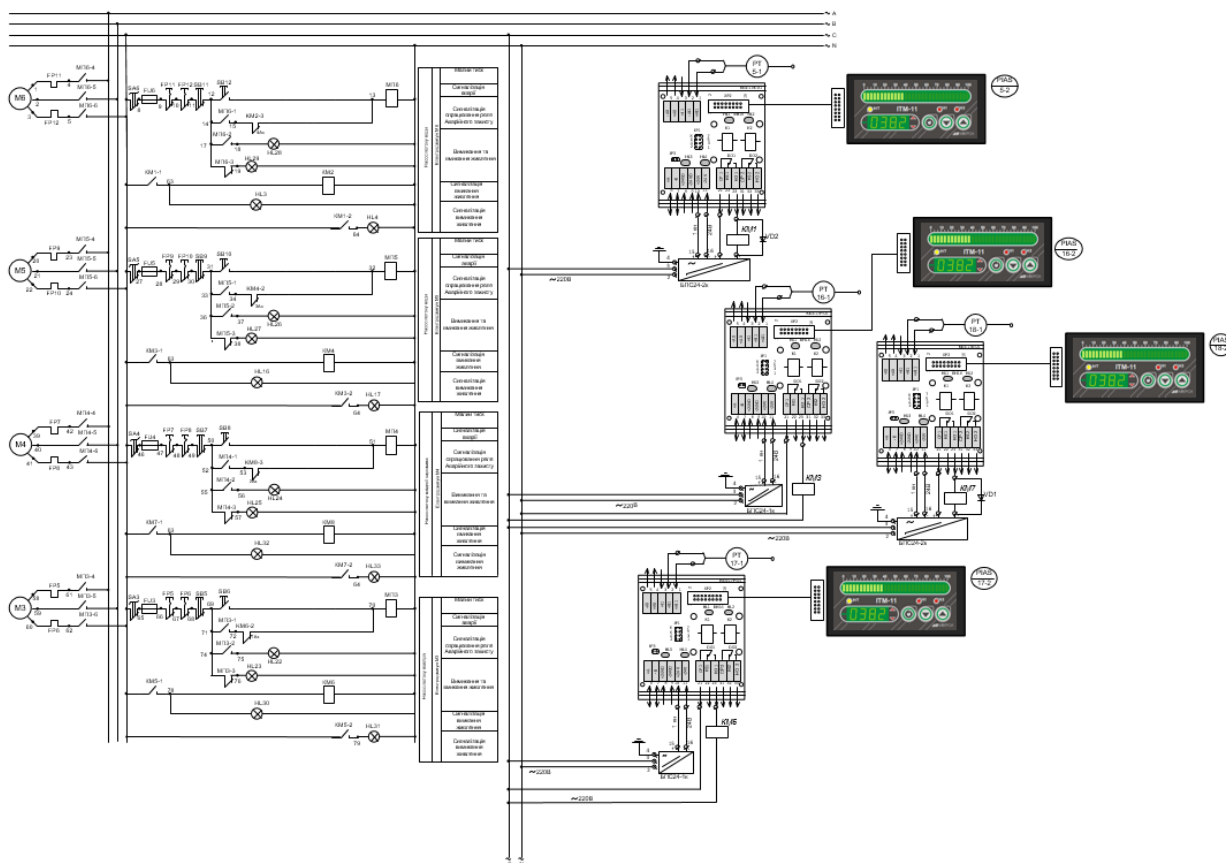


Рис. 2.2.1. Принципова електрична схема дистанційного керування і аварійного захисту електродвигунів

Аварійний захист передбачає відключення моторів: М3, М4 вони вимикаються в результаті спрацювання реле зазначених на схемі. Блокування

					ДП.АХТП.ЛА5121.ПЗ	Лист
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		18

Клапан регулюючий	Трубопровід потоку РНЗ	Технологічне блокування сигналу регулятора на регулюючий клапан
Клапан регулюючий	Трубопровід потоку повітря	Технологічне блокування сигналу регулятора на регулюючий клапан

Після того як температура розчину унормується контакт в приладі розмикається, ланцюг живлення електромагніту КМ9 розривається. Реле спрацьовує і контакти перемикаються назад. Починає світитися лампочка HL15. Зменшена копія схеми технологічної сигналізації процесу азотної кислоти знаходиться на рис. 2.2.3.

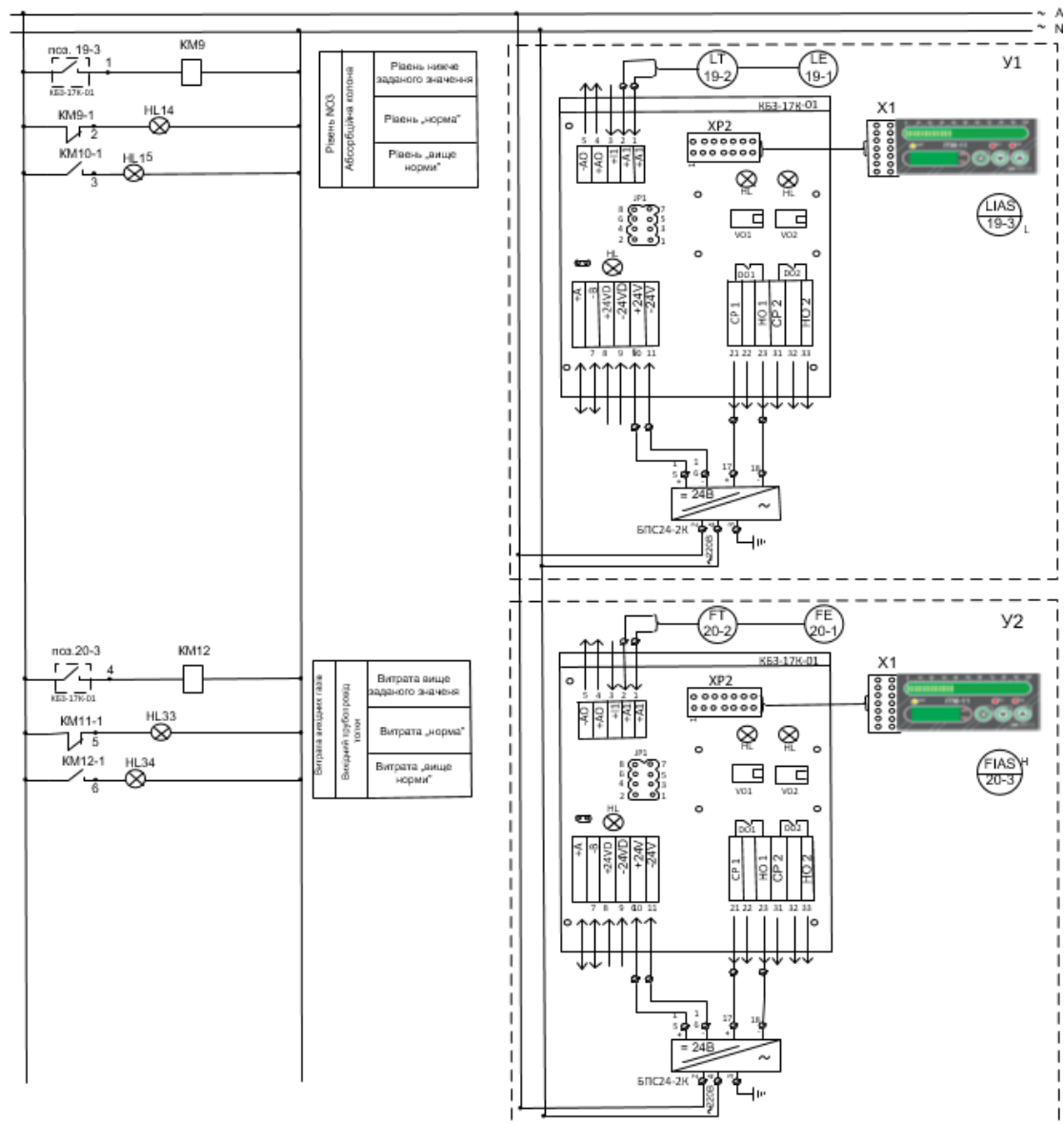


Рис. 2.2.3. Принципова електрична схема технологічної сигналізації контрольованих параметрів

2.3. Розробка монтажно-комутаційної схеми

Схема монтажно-комутаційних з'єднань до принципової електричної схеми з дистанційного керування аварійного захисту та технологічних блокувань знаходиться на Рис. 2.3.1.

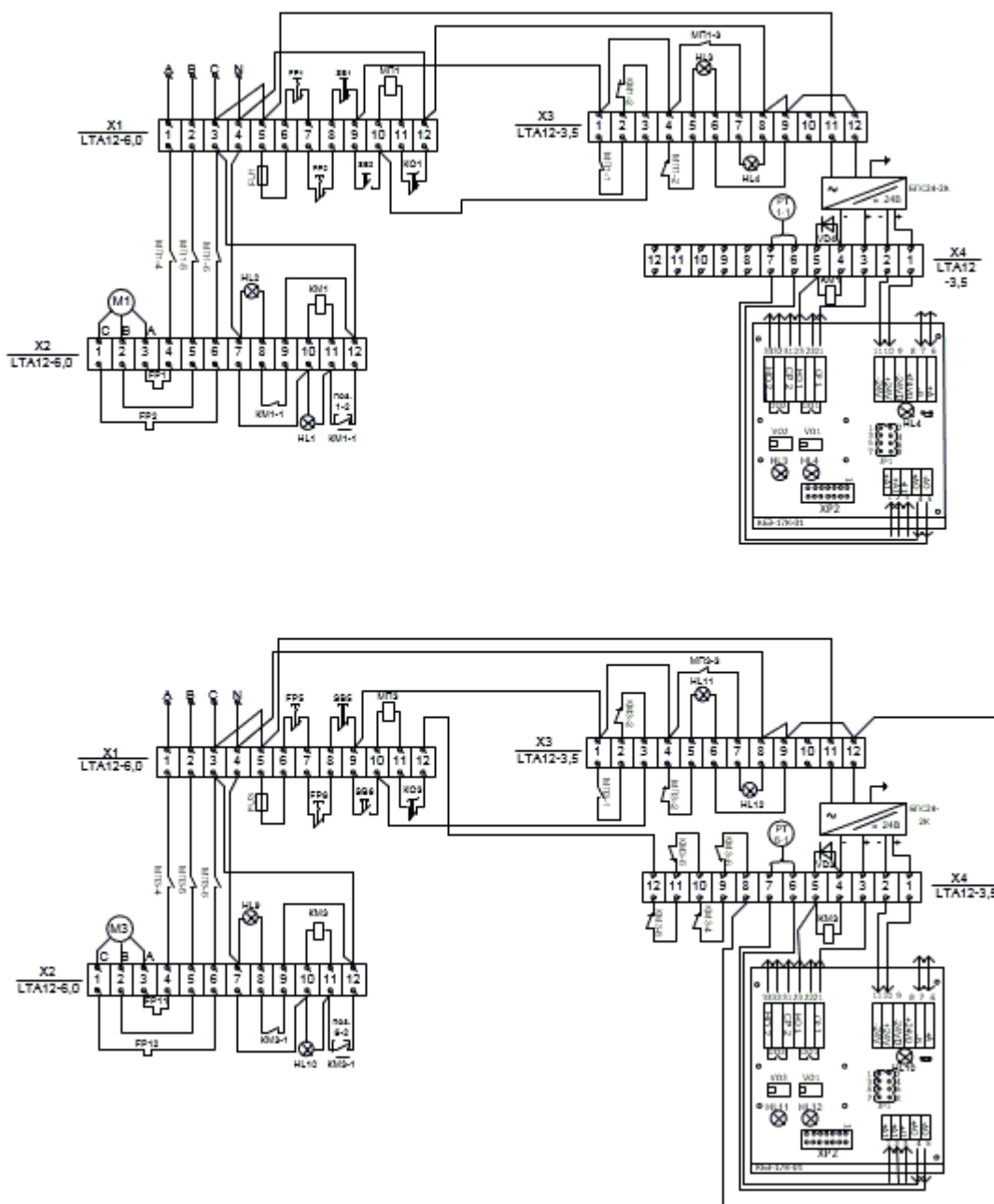


Рис. 2.3.1. Схема монтажно-комутаційних з'єднань до принципової електричної схеми з дистанційного керування аварійного захисту та технологічних блокувань

Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

ДП.АХТП.ЛА5121.ПЗ

Лист

21

Схема монтажно-комутаційних з'єднань потрібна для правильного підключення приборів в контур регулювання.

Схема монтажно-комутаційних з'єднань до принципової електричної схеми з технологічного блокування сигналів до регулювальних клапанів знаходиться на Рис. 2.3.2.

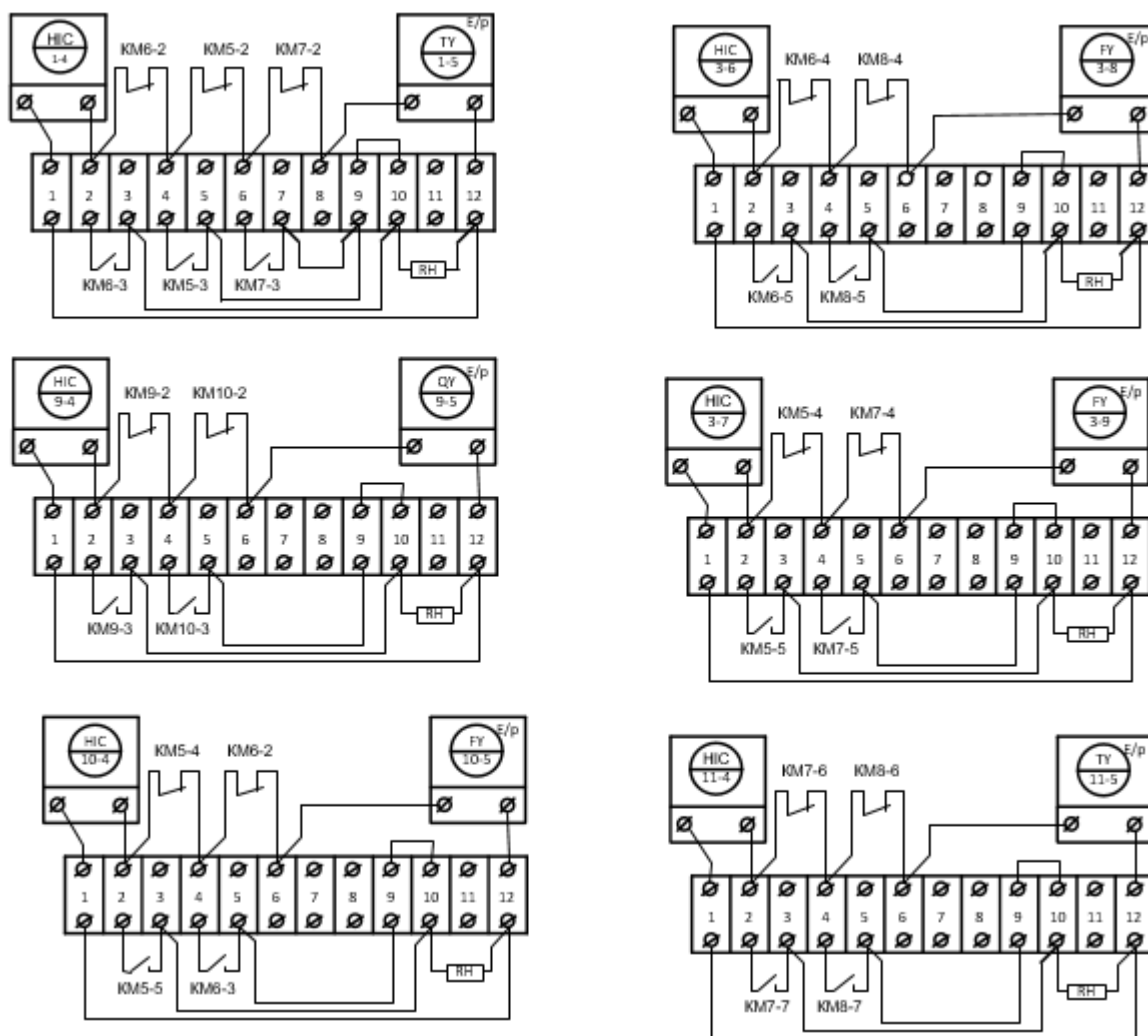


Рис. 2.3.2. Схема монтажно-комутаційних з'єднань до принципової електричної схеми технологічних блокувань сигналів до регулювальних клапанів

Розроблені вище схеми дають можливість у повній мірі забезпечити:

1. Контроль за основними технологічними параметрами процесу
2. Керування параметрами якості на кожній із стадій
3. За допомогою контурів сигналізації забезпечити інформування персоналу про аварійні та надзвичайні ситуації
4. У автоматичному режимі виконувати блокування роботи системи для запобігання надзвичайних ситуацій та пошкоджень апаратів

					ДП.АХТП.ЛА5121.ПЗ	Лист
						23
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОНДЕНСАТОРА У ТЕХНОЛОГІЧНОМУ ПРОЦЕСІ ОТРИМАННЯ АЗОТНОЇ КИСЛОТИ

3.1. Аналіз конденсатора, як об'єкту автоматичного керування

В основу процесу виробництва азотної кислоти покладено охолодження нітрозних газів, що утворюються в контактному апараті. Ці гази, після котла-утилізатора, за температури 400...440 °С, охолоджуються в конденсаторі до 55 °С. Під час їх охолодження, відбувається конденсація парів води з утворенням технічної азотної кислоти концентрацією близько 45 %. Конденсатор являє собою трубчастий теплообмінник, що охолоджує нітрозні гази за допомогою води під тиском 1,079 МПа. Схема автоматизації даного апарату наведена на рисунку:

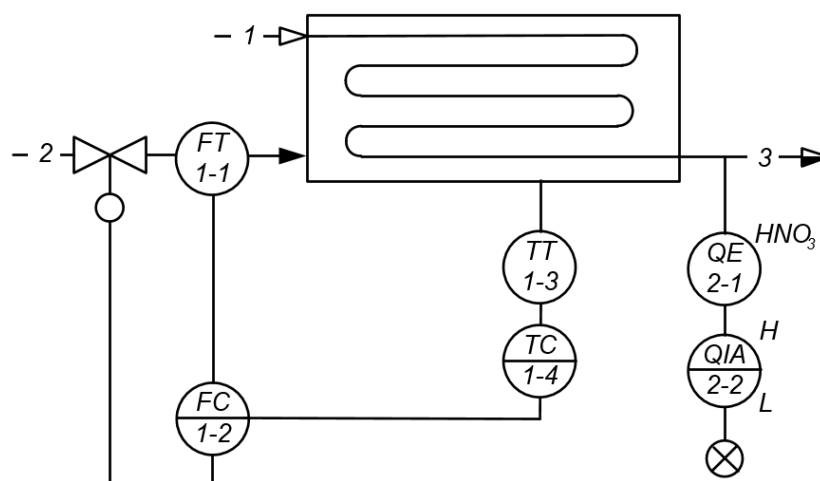


Рис. 3.1.1. Схема автоматизації холодильника-конденсатора

1 – нітрозні гази; 2 – вода; 3 – суміш слабкої азотної кислоти та нітрозних газів; FT – датчик витрати; ТТ – датчик температури; FC – регулятор витрати; ТС – регулятор температури; QE – датчик концентрації азотної кислоти; QIA – вимірювальний прилад

Щоб забезпечити оптимальні умови для конденсації, необхідно керувати температурою в апараті, а також контролювати концентрацію азотної кислоти на виході з конденсатора. Для цього передбачено ряд контурів автоматичного

контролю, оснащених відповідними технічними засобами автоматизації: контур 1, який забезпечує автоматичне керування температурою за рахунок зміни витрати охолоджуючої рідини на вході в апарат; контур 2 здійснює автоматичний контроль та сигналізацію концентрації азотної кислоти на виході з конденсатора.

Для математичного моделювання даного апарату було розроблено його розрахункову схему:

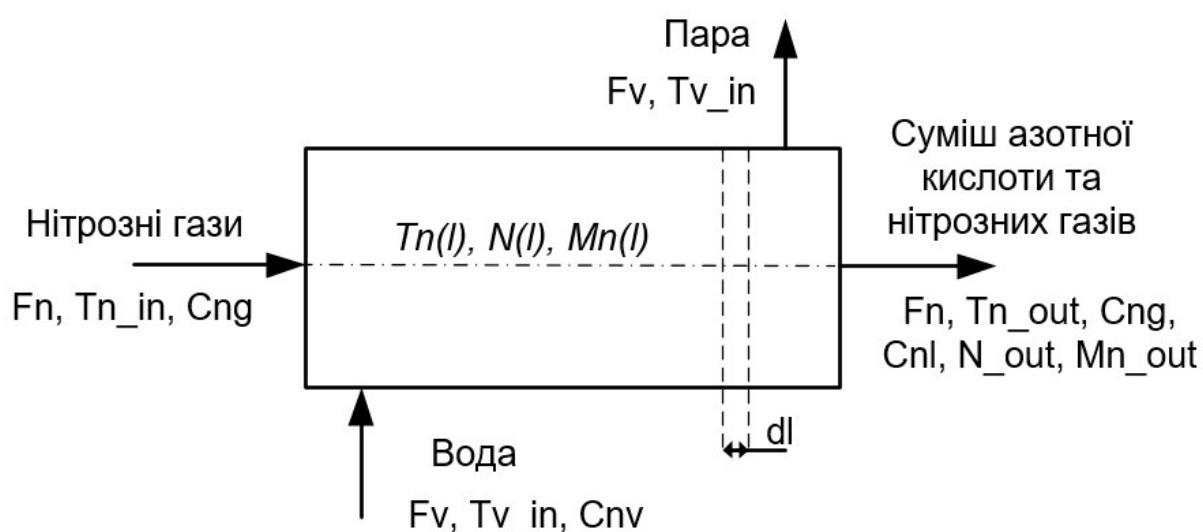


Рис. 3.1.2. Розрахункова схема холодильника-конденсатора

В ході математичного моделювання даного технологічного апарату були прийняті наступні позначення:

F – витрата;

C – коефіцієнт теплопровідності;

η – відсоток рідкої фази;

M – маса;

Θ – температура;

K – коефіцієнт теплопередачі;

S – площа контакту;

T – час ітерації;

r – питома теплота конденсації;

N – число дискретних частин труби.

Індекси:

n – для речовини;

v – для води;

vh/vuh – на вході/виході в апарат.

3.2. Моделювання статичного режиму

За основу для математичного моделювання були взяті рівняння теплового та матеріального балансу.

Матеріальний баланс:

По охолоджувальному агенту:

$$Fv_{vh}(t) = Fv_{vih}(t)$$

По нітрозним газам:

$$Fn_{vh}(t) = Fn_{vih}(t)$$

Для рідкої фази нітрозних газів:

$$Fn(t) * \eta(x - dx, t) - Fn(t) * \eta(x, t) + \Delta m(x, t) = \frac{dM_{nl}(x, t)}{dt}$$

Тепловий баланс:

Для елементарного об'єму газу в частині труби розміром dx на відстані x від початку трубопроводу маємо:

$$\begin{aligned} &Fn_{vh}(t) * C_{ng} * \theta_n(x - dx, t) * (1 - \eta(x - dx, t)) + Fn_{vh}(t) * C_{nl} * C_{ng} \\ &* \theta_n(x - dx, t) * \eta(x - dx, t) - Fn_{vh}(t) * C_{ng} * \theta_n(x, t) * (1 - \eta(x, t)) \\ &+ Fn_{vh} * C_{nl} * C_{ng} * \theta_n(x, t) * \eta(x, t) * \eta_{n,l} - KS \\ &* \left(\theta_n(x, t) - \frac{\theta_{v_{vh}}(t) + \theta_{v_{vuh}}(t)}{2} \right) = Q_{акум} \end{aligned}$$

Зміна фазового складу відбувається з перетворення маси газу в масу конденсату, таким чином:

$$M_n(x, t) = M_{ng}(x, t) + M_{nl}(x, t)$$

					ДП.АХТП.ЛА5121.ПЗ	Лист
						26
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Розрахунок відсоткового співвідношення конденсату проводиться за формулою:

$$\eta(x, t) = \frac{M_{nl}(x, t)}{M_n(x, t)}$$

3.3. Моделювання динамічного режиму в дискретній формі

Використовуючи метод кінцевих різниць отримаємо наступні рівняння:

За основу було взято рівняння матеріальних балансів:

$$F_{v_vh_n} = F_{v_vuh_n} = F_{v_n}$$

$$F_{n_vh_n} = F_{n_vuh_n} = F_{n_n}$$

Для рідкої фази нітрозних газів:

$$F_{n_n} * \eta_{n,l-1} - F_{n_n} * \eta_{n,l} + \Delta m_{n,l} = \frac{M_{nl_{n+1,l}} + M_{nl_{n,l}}}{T}$$

Звідки:

$$M_{nl_{n+1,l}} = M_{nl_{n,l}} + T * (F_{n_n} * \eta_{n,l-1} - F_{n_n} * \eta_{n,l} + \Delta m_{n,l})$$

$$\eta_{n,l+1} = \frac{M_{nl_{n+1,l}}}{M_n}$$

Рівняння теплових балансів були записані у наступному вигляді:

$$\Delta m_{n,l} * r = F_{n_n} * C_{ng} * \theta_{n,l-1} * (1 - \eta_{n,l-1}) + F_{n_n} * C_{nl} * \theta_{n,l-1} * \eta_{n,l-1} - F_{n_n}$$

$$* C_{ng} * \theta_{n,l} * (1 - \eta_{n,l}) + F_{n_n} * C_{nl} * \theta_{n,l} * \eta_{n,l} - K_S$$

$$* \left(\theta_{n,l} - \frac{\theta_{v_vh_n} + \theta_{v_vuh_n}}{2} \right) = \{R1\}$$

$$\Delta m_{n,l} = \frac{\{R1\}}{r}$$

$$\{R1\} = M_n * (C_{nl} * \left(\eta_{n,l} \frac{\theta_{n+1,l} - \theta_{n,l}}{T} + \theta_{n,l} \frac{\eta_{n+1,l} - \eta_{n,l}}{T} \right) + C_{ng}$$

$$* \left(\frac{\theta_{n+1,l} - \theta_{n,l}}{T} - \eta_{n,l} \frac{\theta_{n+1,l} - \theta_{n,l}}{T} - \theta_{n,l} \frac{\eta_{n+1,l} - \eta_{n,l}}{T} \right))$$

$$\begin{aligned}
\theta_{n+1,l} &= \theta_{n,l} - \frac{T * (\eta_{n+1,l} - \eta_{n,l}) * \theta_{n,l} * (C_{nl} - C_{ng})}{M_n * (C_{nl} * \eta_{n,l} + C_{ng} * (1 - \eta_{n,l}))} \\
&- \{R1\} \frac{T}{M_n * (C_{nl} * \eta_{n,l} + C_{ng} * (1 - \eta_{n,l}))} \\
&\frac{1}{2} M_v * C_v * \left(\frac{\theta_{v_{vh_{n+1}}} - \theta_{v_{vh_n}}}{T} + \frac{\theta_{v_{vuh_{n+1}}} - \theta_{v_{vuh_n}}}{T} \right) \\
&= F_{v_n} * c_v * \theta_{v_{vh_n}} - F_v * c_v * \theta_{v_{vuh_n}} \\
&+ K_S \left(\left(\frac{1}{2} \theta_{n,0} + \frac{1}{2} \theta_{n,N} - \theta_{v_{vh_n}} - \theta_{v_{vuh_n}} \right) * h_x \right. \\
&\left. + \sum_{i=1}^{N-1} \left(\theta_{n,i} - \frac{\theta_{v_{vh_n}} + \theta_{v_{vuh_n}}}{2} h_x \right) \right) = \{R2\} \\
\theta_{v_{vuh_{n+1}}} &= \theta_{v_{vuh_n}} - \theta_{v_{vh_{n+1}}} + \theta_{v_{vh_n}} + \frac{2T}{M_v * C_v} * \{R2\}
\end{aligned}$$

З використанням наведених вище рівнянь можна розрахувати динаміку зміни температури і концентрації конденсату у будь який момент часу по всій довжині апарату.

3.4. Алгоритм розрахунку математичної моделі конденсатора

Було розроблено алгоритм розрахунку математичної моделі, з використанням формул з пункту 3.3. Він має наступний вигляд:

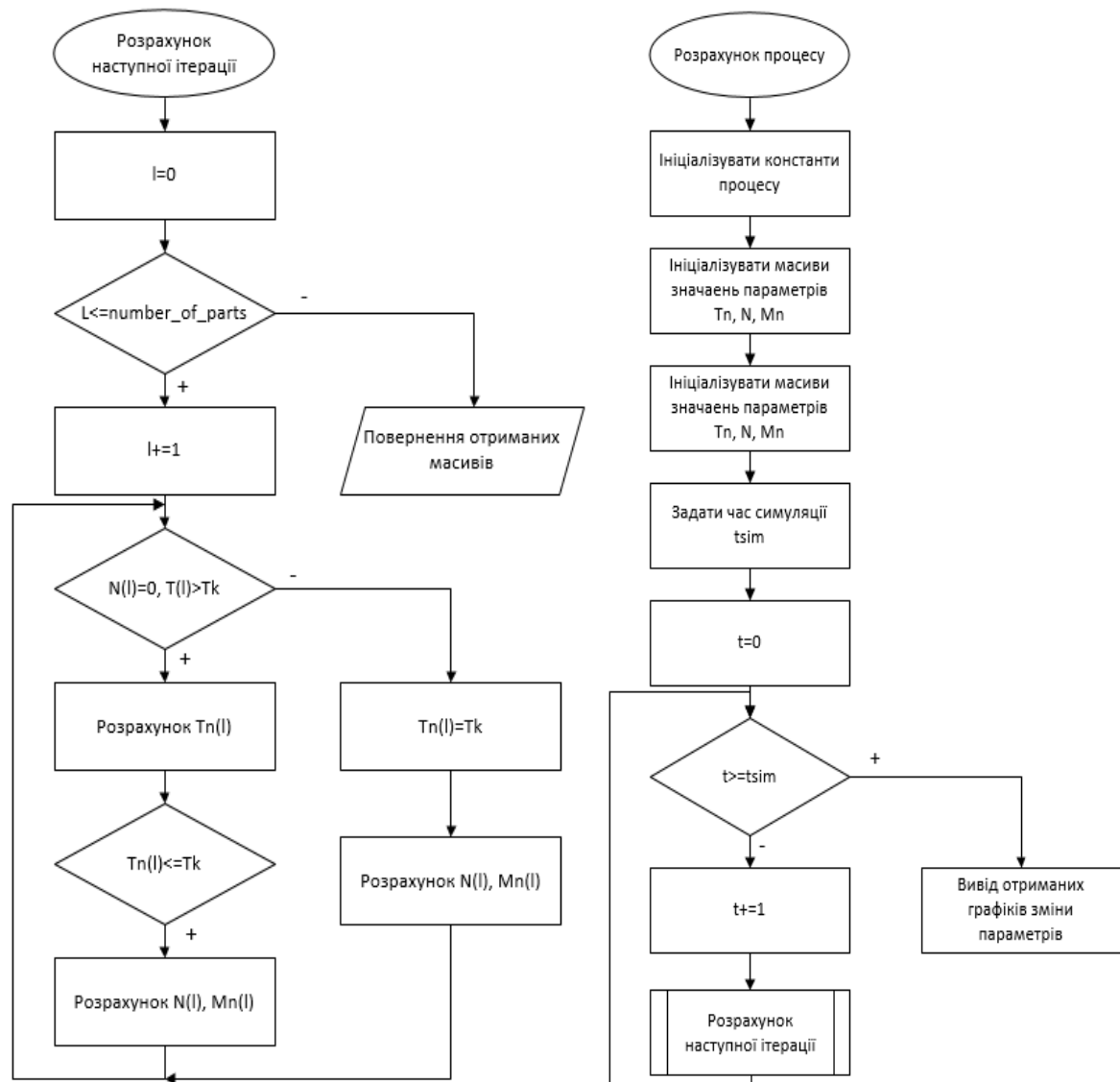


Рис. 3.4.1. Блок-схема алгоритму розрахунку математичної моделі конденсатора

З використанням мови програмування Python 3.7 виконано розрахунок математичної моделі конденсатора. Результатом роботи розробленого рішення є просторова модель температури і відсотковий вміст рідкої фази по довжині апарату.

3.5. Результати математичного моделювання

Моделювання роботи конденсатора було у відповідності до даних нормального режиму роботи. Основні параметри протікання даного процесу наведені у таблиці 3.5.1:

Таблиця 3.5.1. Параметри технологічного процесу конденсації

№ п/п	Назва параметру	Позначення (ідентифікатор)	Одиниця вимірювання	Значення
1	Кількість дискретних частин труби для розрахунку	-	-	1000
2	Довжина дискретної частини труби	h_x	м	0.009
3	Об'єм речовини в апарату	V	м ³	13.36
4	Витрата нітрозних газів	F_n	кг/с	1.1
5	Температура нітрозних газів на вході	Θ_{n_vh}	К	423.15
6	Температура конденсації нітрозних газів	Θ_k	К	313.15
7	Температура води на вході	Θ_{v_vh}	К	293.15
8	Питома теплота конденсації нітрозних газів	r	кДж	359.57
9	Теплопровідність нітрозних газів	C_{ng}	Вт/м·К	0.025

10	Теплопровідність конденсату	C_{nl}	Вт/м·К	0.469
11	Теплопровідність води	C_{nl}	Вт/м·К	0.6089
12	Густина нітрозних газів	ρ_n	кг/м ³	2.0527
13	Густина води	ρ_v	кг/м ³	998.2
14	Коефіцієнт теплопередачі дискретної частини труби	K	Вт/м ² ·К	350
15	Площа теплопередачі дискретної частини труби	S	м ²	0.000848

Лістинги програми на мові Python 3.7 для обчислення математичної моделі процесу:

Файл ініціалізації констант Constants.py

```

from math import pi
number_of_parts = 1000 # Number of discrete parts of the pipe
InputTn = 423.15 # Input gas temperatre [K]
Tk = 313.15 # Condensation temperature [K]
Fn = 0.3 # Discharge of gas [kg/s]
Cng = 2.5e-2 # Heat capacity of gas part [W/(m*K)]
Cnl = 0.469 # Heat capacity of cooling water [W/(m*K)]
Cnv = 0.6089 # Heat capacity of liquid part [W/(m*K)]
TubeL = 9.0 # Tube length [m]
TubeD = 0.03 # Tube diameter [m]
TubeR = TubeD/2 # Tube radius [m]
```

```

TubeS = pi*TubeR**2 # Tube area [m^2]
TubeV = TubeS*TubeL*2100 # Tube volume [m^3]
AppV = 2*TubeV # Whole volume [m^3]
GasP = 2.0527 # Density of nitrogen dioxide in gas state [kg/m^3]
hx = TubeL/number_of_parts # length of the discrete tube part
GasM = pi*TubeD**2/4*TubeL/number_of_parts*GasP*2100 # [kg]
WaterP = 998.2 # Density of water [kg/m^3]
WaterM = WaterP*(AppV-TubeV) # Mass of water [kg]
r = 359.57 # Enthalpy of vaporization [J]
K = 400 # Heat transfer coefficient Вт/(м·град)
S = 2*TubeR*pi * TubeL/number_of_parts # Heat transfer area [m^2]
Tv_vh = 293.15 # Input water temperatre [K]
startTv_vih = 320.15 # Output water temperatre [K]
startTn = [InputTn-i*0.01 for i in range(number_of_parts)] # Temperature of gas [K]
startN = [0.0 for i in range(number_of_parts)] # Ratio of liquid in the tube [%]
startMn = [0.0 for i in range(number_of_parts)] # Mass of liquid in the tube [kg]
startFv = 0.8 # Discharge of cooling liquid [kg/s]

```

Файл ітеративного розрахунку моделі Iteration.py

```

from Constants import *
def step(Tn, Mn, N, Tv_vih, Fv, T=1):
    """Calculates parameters in the next period of time"""
    R1 = [((Fn*Cng*Tn[l-1]*(1-N[l-1])+
    Fn*Cnl*Tn[l-1]*N[l-1]\
    -Fn*Cng*Tn[l]*(1-N[l])\
    -Fn*Cnl*Tn[l]*N[l])\
    -K*S*(Tn[l]-(Tv_vh+Tv_vih)/2)) if l!=0 else \
    ((Fn*Cng*(InputTn)\
    -Fn*Cng*Tn[l]*(1-N[l])\

```

					ДП.АХТП.ЛA5121.ПЗ	Лист
						32
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		


```

-Fn*Cnl*Tn[l]*N[l])\
-K*S*(Tn[l]-(Tv_vh+Tv_vih)/2))
for l in range(number_of_parts)]
R2 = (Fv*Cnv*Tv_vh-Fv*Cnv*Tv_vih+K*S*((0.5*Tn[0]+0.5*Tn[-1]-Tv_vh-
Tv_vih)*hx+\
sum([Tn[n]-(Tv_vh+Tv_vih)/2*hx for n in range(1, number_of_parts-2)])))
nextTv_vih = Tv_vih-Tv_vh+Tv_vh+2*T/(WaterM*Cnv)*R2
nextN = [0 for l in range(number_of_parts)]
nextMn = [0 for l in range(number_of_parts)]
dM = [0 for l in range(number_of_parts)]
nextTn = Tn
l = 0
for l in range(number_of_parts):
    if N[l] == 0 and Tn[l] > Tk:
        nextTn[l] = (Tn[l]-(T*(nextN[l]-N[l])*Tn[l]*(Cnl-
Cng))/(GasM*(Cnl*N[l]+Cng*(1-N[l]))))\
+(T/(GasM*(Cnl*N[l]+Cng*(1-N[l]))))*R1[l])
        if nextTn[l]<=Tk:
            nextN[l] = (Tk-nextTn[l])*Cng/r
            nextTn[l] = Tk
        elif N[l] == 0 and nextTn[l] < Tk:
            print('Error 404')
        elif N[l] >= 0 and Tn[l] == Tk:
            nextTn[l] = Tk
            dM[l] = -R1[l]/r
            nextMn[l] = Mn[l]+T*(Fn*N[l-1]-Fn*N[l]+dM[l-1])
            nextN[l] = nextMn[l]/GasM
        else:
            nextN[l] = 0
            nextMn[l] = 0

```

					ДП.АХТП.ЛA5121.ПЗ	Лист
						33
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

```
return (nextTn, nextMn, nextN, nextTv_vih)
```

Файл для візуалізації результатів обрахунку Simulation.py

```
import matplotlib.pyplot as plt
from Constants import startFv, startMn, startN, startTn, startTv_vih
from Iteration import step
if __name__ == '__main__':
    Tn = startTn
    Tv_vih = startTv_vih
    N = startN
    Mn = startMn
    Fv = startFv
    T = 300
    ns = []
    tns = []
    tns1 = []
    for i in range(T):
        Tn, Mn, N, Tv_vih = step(Tn, Mn, N, Tv_vih, Fv)
        ns.append(N)
        tns.append(Tn[200])
        tns1.append(Tn[800])
    f, axes = plt.subplots(2, 1)
    axes[0].plot([i for i in range(0, T)], tns, [i for i in range(0, T)], tns1)
    im = axes[1].imshow(ns, cmap='Blues')
    plt.colorbar(im)
    plt.show()
```

Моделювання роботи конденсатора було проведено за різних значень витрати охолоджуючої води, а саме: 2 кг/с, 4 кг/с, 6 кг/с, 8 кг/с, 10 кг/с.

					ДП.АХТП.ЛА5121.ПЗ	Лист
						34
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Для витрати охолоджуючої води 2 кг/с були отримані наступні графіки розподілу температури (графік у 5 контрольних точках, а також площина температури по всій довжині трубопроводу в часі):

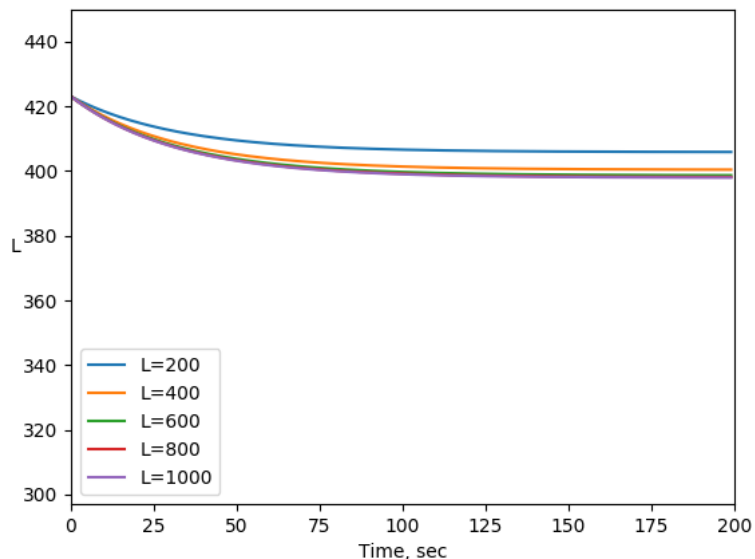


Рис. 3.5.1. Зміна температури в різних точках трубопроводу в часі витраті води $F=2$ кг/с

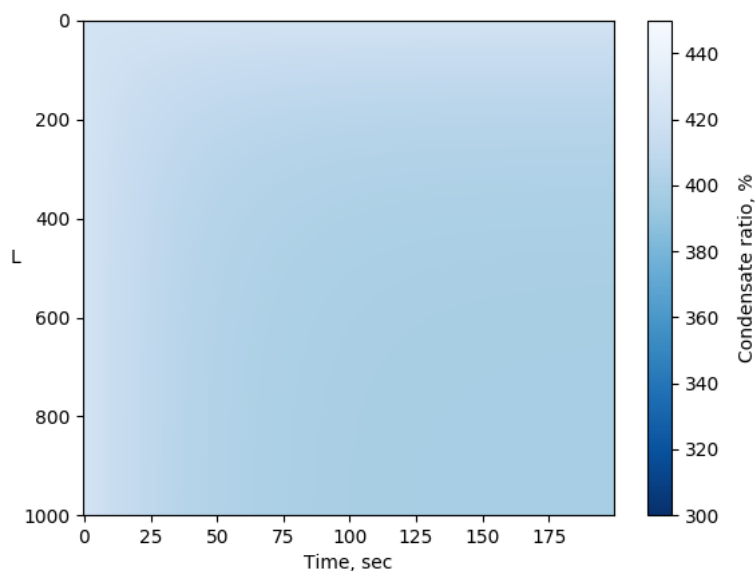


Рис. 3.5.2. Площина розподілу температур в трубопроводу в часі при витраті води $F=2$ кг/с

З аналізу графіків видно, що за даної витрати води відбувається незначне охолодження газу до 398.27 К.

Для витрати охолоджуючої води 4 кг/с були отримані наступні графіки розподілу температури (графік у 5 контрольних точках, а також площина температури по всій довжині трубопроводу в часі):

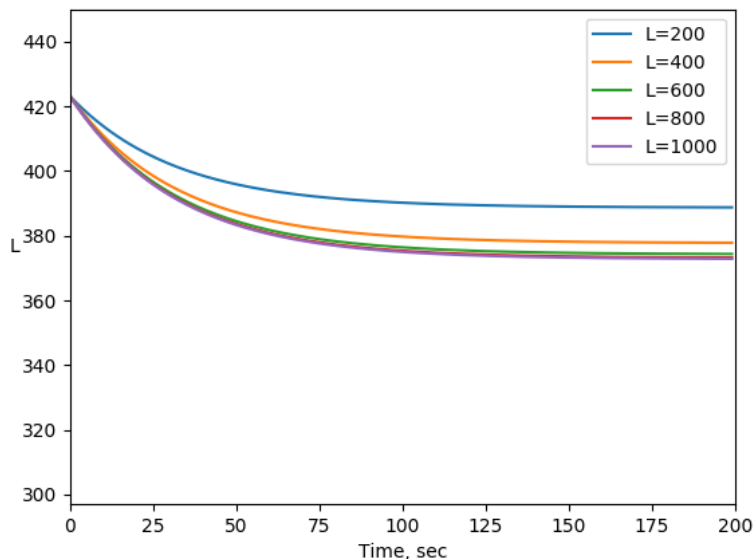


Рис. 3.5.3. Зміна температури в різних точках трубопроводу в часі витраті води $F=4$ кг/с

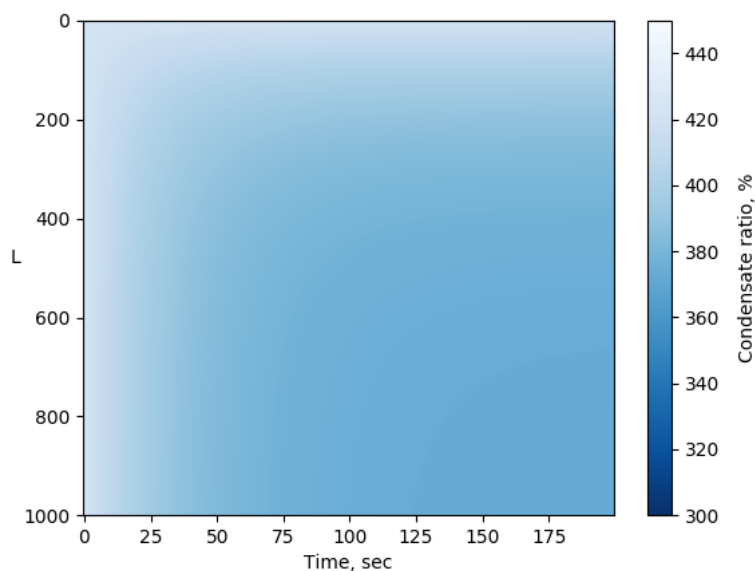


Рис. 3.5.4. Площина розподілу температур в трубопроводу в часі при витраті води $F=4$ кг/с

З аналізу графіків видно, що за даної витрати води відбувається більше, у порівнянні з витратою води 2 кг/с, охолодження газу до 372.68 К.

Дана динамка свідчить про правильність запису математичної моделі, оскільки збільшення витрати охолоджувальної води має приводити до зниження температури нітрозних газів.

Для витрати охолоджуючої води 6 кг/с були отримані наступні графіки розподілу температури (графік у 5 контрольних точках, а також площина температури по всій довжині трубопроводу в часі):

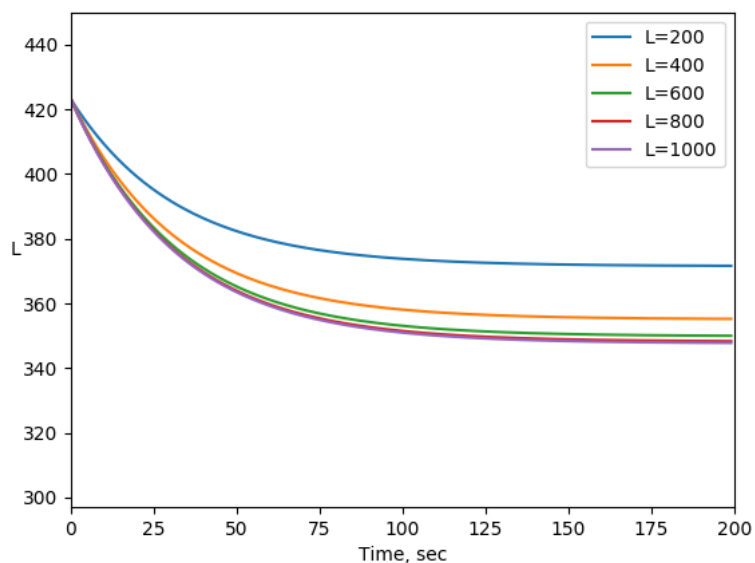


Рис. 3.5.5. Зміна температури в різних точках трубопроводу в часі витраті води $F=6$ кг/с

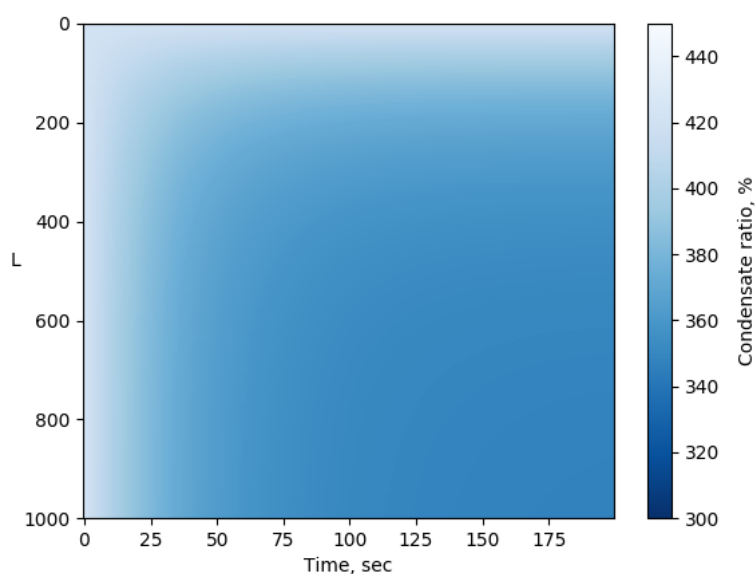


Рис. 3.5.6. Площина розподілу температур в трубопроводу в часі при витраті
води $F=6$ кг/с

З аналізу графіків видно продовжується динаміка зниження температури нітрозних газів на виході.

Для витрати охолоджуючої води 8 кг/с були отримані наступні графіки розподілу температури (графік у 5 контрольних точках, а також площина температури по всій довжині трубопроводу в часі):

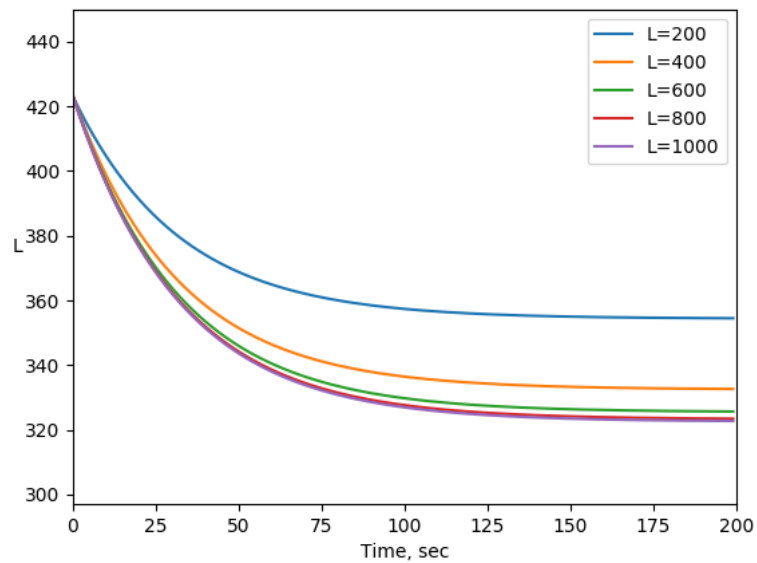


Рис. 3.5.7. Зміна температури в різних точках трубопроводу в часі витраті води
 $F=8$ кг/с

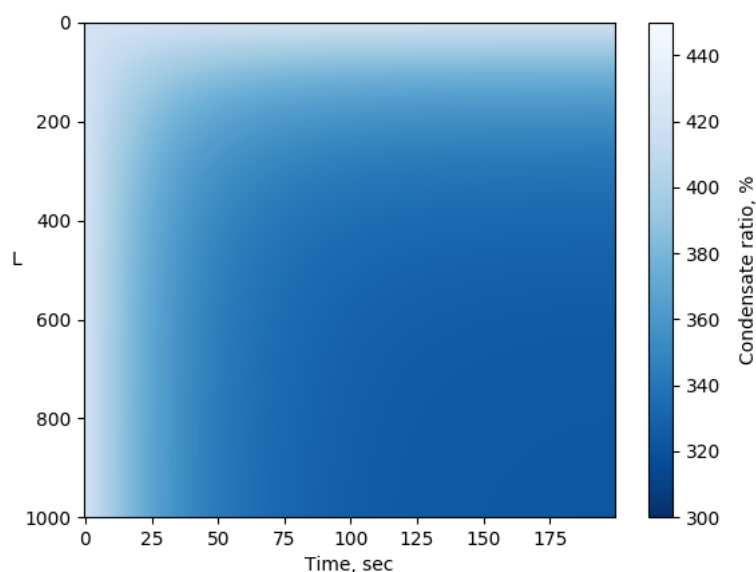


Рис. 3.5.8. Площина розподілу температур в трубопроводі в часі при витраті
води $F=8$ кг/с

З аналізу графіків видно, що за даної витрати, в кінці перехідного процесу, температура нітрозних газів досягає точки конденсації.

Для витрати охолоджуючої води 10 кг/с були отримані наступні графіки розподілу температури (графік у 5 контрольних точках, а також площина температури по всій довжині трубопроводу в часі):

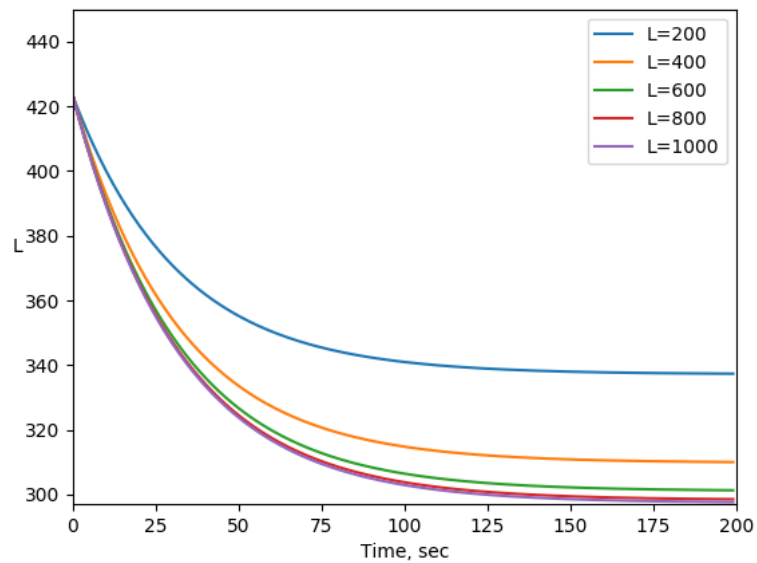


Рис. 3.5.9. Зміна температури в різних точках трубопроводу в часі витраті води
 $F=10$ кг/с

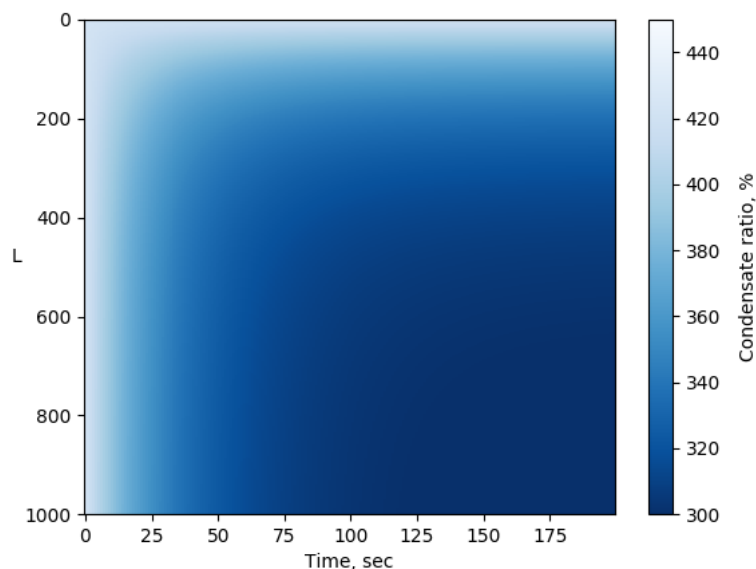


Рис. 3.5.10. Площина розподілу температур в трубопроводі в часі при витраті
води $F=10$ кг/с

За максимального значення витрати у системі відбувається охолодження нітрозних газів нижче точки конденсації.

За результатами математичного моделювання було встановлено доцільність використання в якості керувального впливу витрати охолоджувальної води, що є ефективним способом зміни температури нітрозних газів на виході з конденсатора.

Отримана модель призначена для використання у імітаційному моделюванні системи керування даним технологічним апаратом.

					ДП.АХТП.ЛА5121.ПЗ	Лист
						40
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4.

СИНТЕЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ КОНДЕНСАТОРОМ

4.1 Постановка задачі для системи керування

В основу процесу виробництва азотної кислоти покладено охолодження нітрозних газів, що утворюються в контактному апараті. Ці гази, після котла-утилізатора, за температури 673...713 К, охолоджуються в конденсаторі до 320.15 К. Під час їх охолодження, відбувається конденсація парів води з утворенням технічної азотної кислоти концентрацією близько 45 %. Конденсатор являє собою трубчастий теплообмінник, що охолоджує нітрозні гази за допомогою води під тиском 1,079 МПа.

Було встановлено, що для керування процесом конденсації доцільно змінювати витрату охолоджувальної води на вході в апарат. Керованим параметром є температура на виході з конденсатора, вона повинна бути на рівні 320.15 К, за якої починається конденсація нітрозних газів.

Обмеженням на зміну керувального пливу є пропускна здатність трубопроводу, що встановлює рамки варіювання витрати в межах від 0 до 10 кг/с.

При налаштуванні регуляторів був використаний лінійний метод пошуку мінімуму функції критерію оптимальності. Пошук проводився за допомогою метода п'яти точок.

Квадратичний критерій оптимальності:

$$I = (T_{n_{out}} - T_{зад})^2$$

де $T_{n_{out}}$ – температура нітрозних газів на виході з апарату в кінці перехідного процесу;

$T_{зад}$ – завдання по температурі нітрозних газів на виході з апарату.

Лістинг програми на мові Python 3.7 для пошуку оптимальних налаштувань регуляторів:

					ДП.АХТП.ЛА5121.ПЗ	Лист
						41
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

```

# Controller.py
class Controller:
    Coefs = {'Kp':0, 'Ki':0, 'Kd':0} # Коефіцієнти налаштування
    target = 0 # Завдання
    _Active_Parts = {'Kp':True, 'Ki':False, 'Kd':False} # Підключення
# різних частин регулятора
    _prevI = 0 # For I part
    _prevE = 0 # For D part

    def __init__(self, Kp=1, Ki=0, Kd=0):
        self.Coefs['Kp'] = Kp
        self.Coefs['Ki'] = Ki
        self.Coefs['Kd'] = Kd

    def setTarget(self, target): #
        self.target = target

    def refresh(self):
        self._prevI = 0 # For I part
        self._prevE = 0 # For D part

# Установка коефіцієнтів регулятора
    def setCoef(self, name, value):
        self.Coefs[name] = value
        if value != 0:
            self._Active_Parts[name] = True
        else:
            self._Active_Parts[name] = False

# Обчислення сигналу керування

```

```

def next_signal(self, current):
    signal = 0
    if self._Active_Parts['Kp']:
        signal += self._P(current)
    if self._Active_Parts['Ki']:
        self._prevI = self._I(current)
        signal += self._prevI
    if self._Active_Parts['Kd']:
        signal += self._D(current)
    _prevE = self.target-current

    signal = self.restriction(signal, 0, 10) # Застосування обмежень
    return signal

```

```

def _P(self, current): # Обчислення П частини
    return self.Coeffs['Kp']*(current-self.target)
def _I(self, current): # Обчислення І частини
    return self._prevI + self.Coeffs['Ki']*(current-self.target)
def _D(self, current): # Обчислення Д частини
    return self.Coeffs['Kd']*((current-self.target)-self._prevE)

```

Накладання обмежень на сигнал керування

```

def restriction(self, signal, min, max):
    if signal < min:
        return min
    if signal > max:
        return max
    return signal

```

Reg_Tuning.py

					ДП.АХТП.ЛА5121.ПЗ	Лист
						43
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

```

E = 1e-4      # Похибка пошуку
Tzad = 320.15 # Завдання
for k in ['Kp', 'Ki', 'Kd']:
    Kmin = 0.0 # Нижня границя пошуку
    Kmax = 1.0 # Верхня границя пошуку
    L = Kmax-Kmin
    while L/4 > E:
        x = [Kmin, Kmin+L/4, Kmin+L/2, Kmax-L/4, Kmax]
        y = []
        for xi in x:
            controller.setCoef(k, xi) # Установка новых наладувань
                                     # регулятора
        Ts = Simulate () # Обчислення параметрів процесу при
                         # заданих наладуваннях
        controller.refresh()
        e = abs(Ts[-1][-1]-Tzad) # Розрахунок критерію оптимальності
        y.append(e)
        midx=y.index(min(y)) # Знаходження мінімального критерія
        # Пошук нових границь пошуку
        if midx < 2:
            Kmax = x[2]
        elif midx == 2:
            Kmin = x[1]
            Kmax = x[3]
        elif midx > 2:
            Kmin = x[2]
        L=Kmax-Kmin

```

4.2 Налаштування П регулятора

Першим регулятором, що був розглянутий для керування процесом конденсації, є пропорційний (П) регулятор.

Розрахункова формула П регулятора:

$$P = K_r * (T_{\text{пот}} - T_{\text{зад}})$$

Налаштування коефіцієнту K_r було проведено з використанням п'ятиточкового методу одновимірної оптимізації.

Візуалізація процесу пошуку даного коефіцієнту наведено на рисунку 4.2.1:

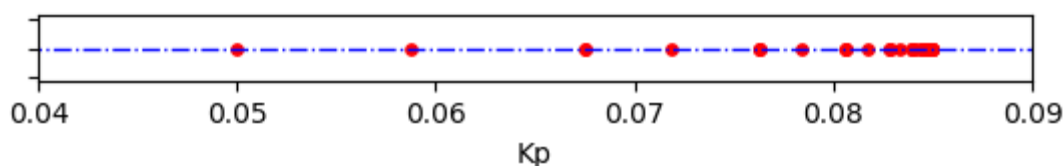


Рис. 4.2.1. Частина роботи алгоритма пошуку мінімуму для коефіцієнта K_r

Результатом роботи алгоритму було знайдене оптимальне значення коефіцієнту підсилення пропорційного регулятора:

$$K_r = 0.08456$$

За даного налаштування площина розподілу температури має наступний вигляд:

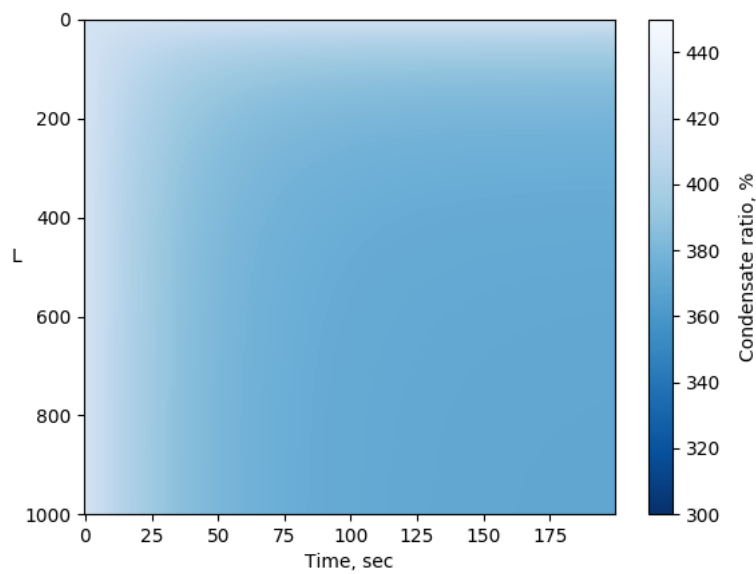


Рис. 4.2.2. Площина розподілу температур в трубопроводі в часі з використанням П регулятора

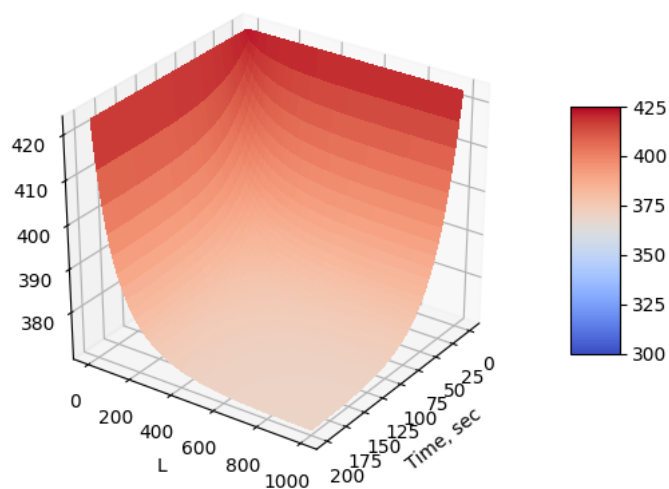


Рис. 4.2.3. Діаграма залежності температури в різних точках трубопроводу в часі з використанням П регулятора

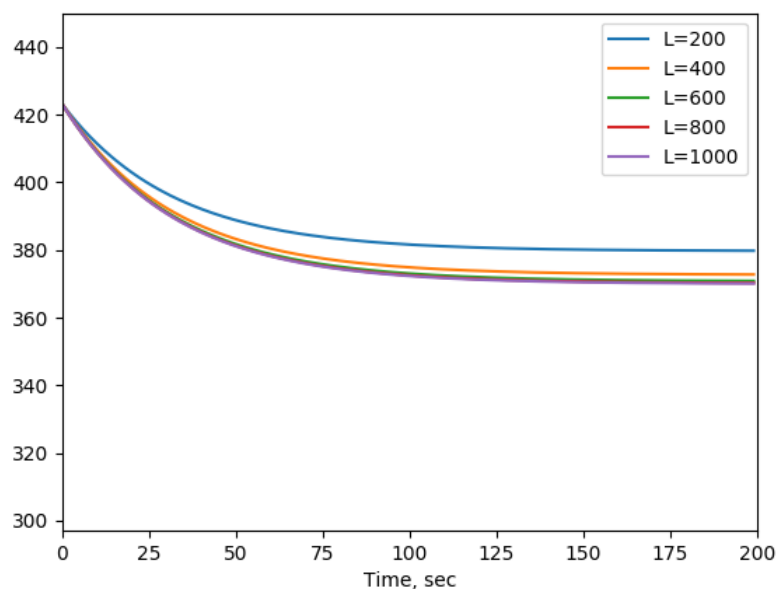


Рис. 4.2.4. Зміна температури в різних точках трубопроводу в часі з використанням П регулятора

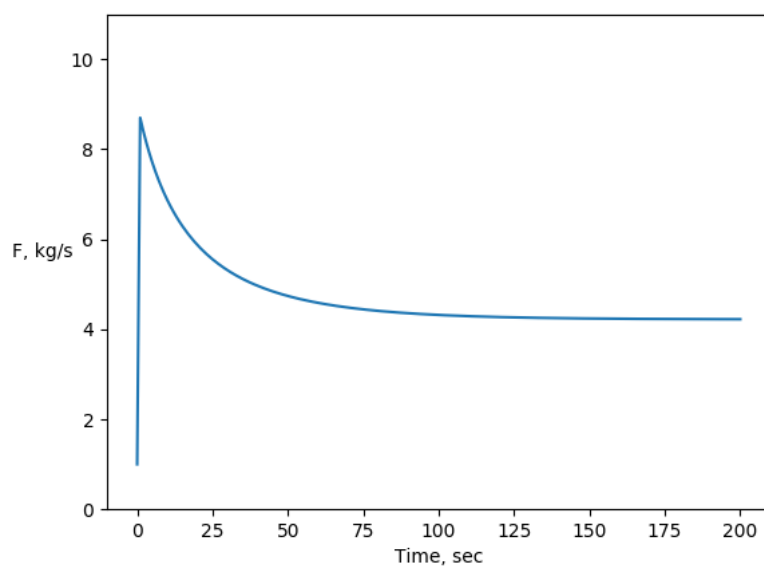


Рис. 4.2.5. Зміна витрати води (керуючого параметра) в часі за використання П регулятора

Як можна побачити на отриманих графіках, П регулятор виводить керований параметр на рівень 370 К. Статична похибка дорівнює 50 К. Процес виходить на усталене значення за 120 с.

Роботу даного регулятора можна вважати незадовільною, оскільки кінцева температура недостатня для початку конденсації.

4.3 Налаштування ПІ регулятора

Наступним регулятором для розгляду було обрано пропорційно-інтегральний (ПІ) регулятор.

Розрахункова формула ПІ регулятора:

$$PI = K_r * (T_{\text{пот}} - T_{\text{зад}}) + I_{(t-1)} + K_i * (T_{\text{пот}} - T_{\text{зад}})$$

Його налаштування було проведено за умові відомого коефіцієнту пропорційної складової, що був знайдений у пункті 4.2.

Налаштування коефіцієнту K_i було проведено з використанням п'ятиточкового методу одновимірної оптимізації.

Візуалізація процесу пошуку даного коефіцієнту наведено на рисунку 4.3.1:

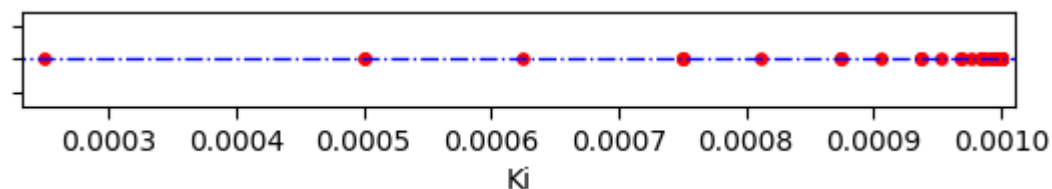


Рис. 4.3.1. Частина роботи алгоритма пошуку мінімуму для K_i

Отримані значення коефіцієнтів налаштування:

$$K_r = 0.0845672 \quad K_i = 0.0004926$$

За даного налаштування площина розподілу температури має наступний вигляд:

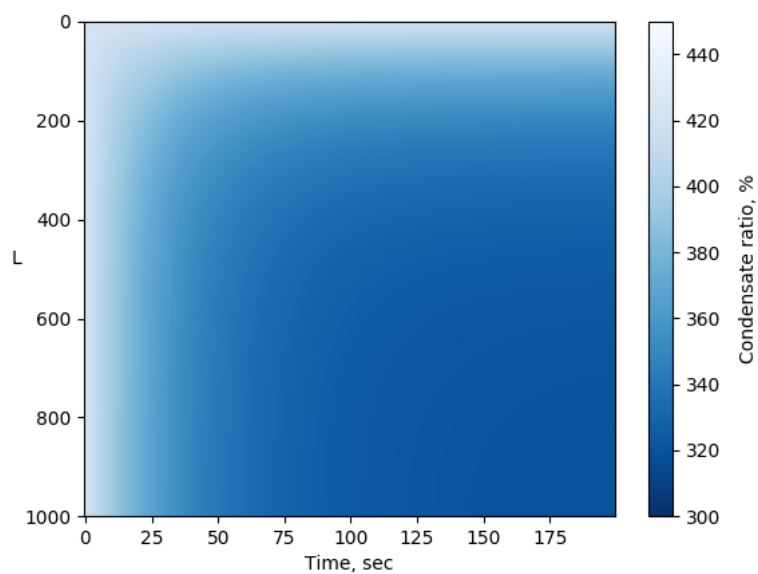


Рис. 4.3.2. Площина розподілу температур в трубопроводі в часі з використанням ПІ регулятора

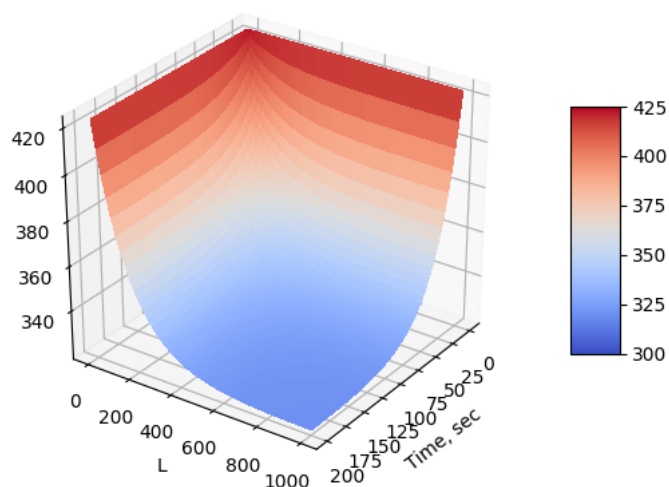


Рис. 4.3.3. Діаграма залежності температури в різних точках трубопроводу в часі з використанням ПІ регулятора

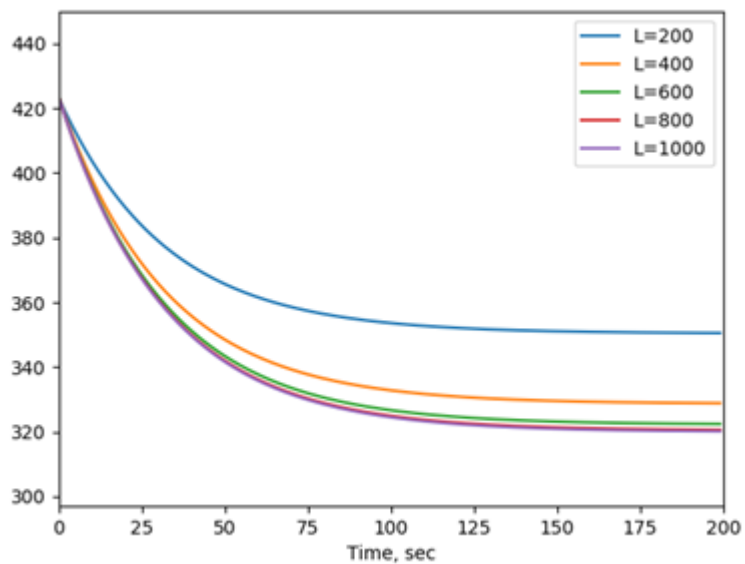


Рис. 4.3.4. Зміна температури в різних точках трубопроводу в часі з використанням ПІ регулятора

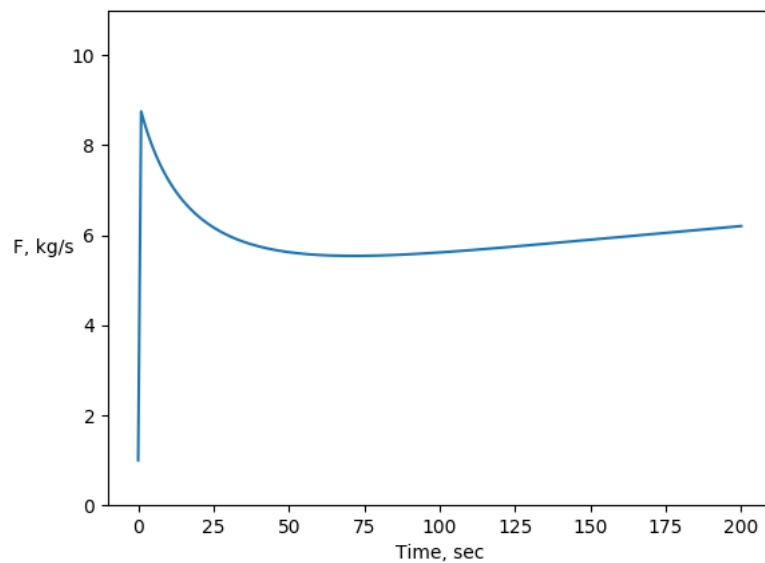


Рис. 4.3.5. Зміна витрати води (керуючого параметра) в ч за використанні ПІ регулятора

Як можна побачити на отриманих графіках ПІ регулятор виводить керований параметр на рівень 320.15 К. Статична похибка дорівнює 0.0003 К. Процес виходить на усталене значення за 150 с.

За використання даного регулятора системи виходить на задане значення температури, що необхідне для конденсації нітрозних газів, отже можна вважати, що регулятор виконав поставлене завдання.

Однак, було вирішено перевірити можливість використання ПІД регулятора, для зменшення часу виходу системи на задане значення.

4.4 Налаштування ПІД регулятора

Розрахункова формула ПІД регулятора:

$$PID = K_r * (T_{\text{пот}} - T_{\text{зад}}) + I_{t-1} + K_i * (T_{\text{пот}} - T_{\text{зад}}) + K_d * ((T_{\text{пот}} - T_{\text{зад}}) - (T_{\text{пот}} - T_{\text{зад}})_{t-1})$$

Його налаштування було проведено за умові відомого коефіцієнту пропорційної та інтегральної складових, що були знайдені у пункті 4.2 та 4.3.

Налаштування коефіцієнту K_d було проведено з використанням п'ятиточкового методу одновимірної оптимізації.

Візуалізація процесу пошуку даного коефіцієнту наведено на рисунку 4.4.1:

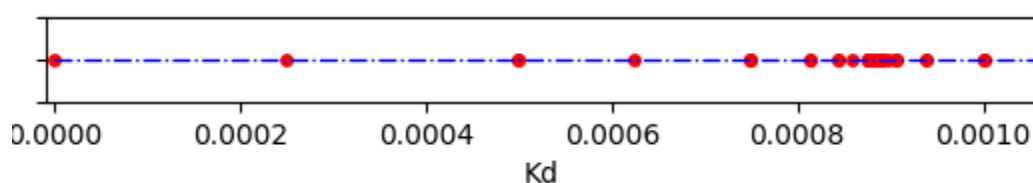


Рис. 4.4.1. Частина роботи алгоритма пошуку мінімуму для K_d

Отримані значення коефіцієнтів налаштування:

$$K_r = 0.0845672 \quad K_i = 0.0004926 \quad K_d = 0.0002742$$

За даного налаштування площа розподілу температури має наступний вигляд:

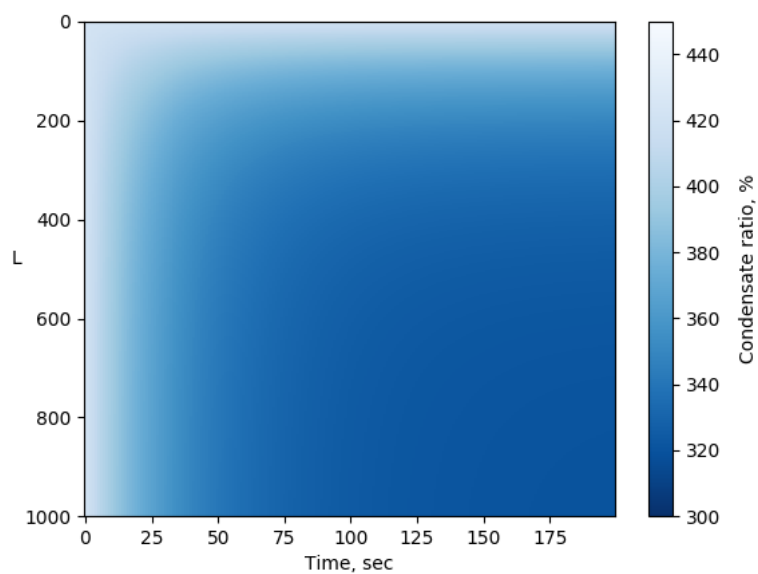


Рис. 4.4.2. Площина розподілу температур в трубопроводу в часі з використанням ПІД регулятора

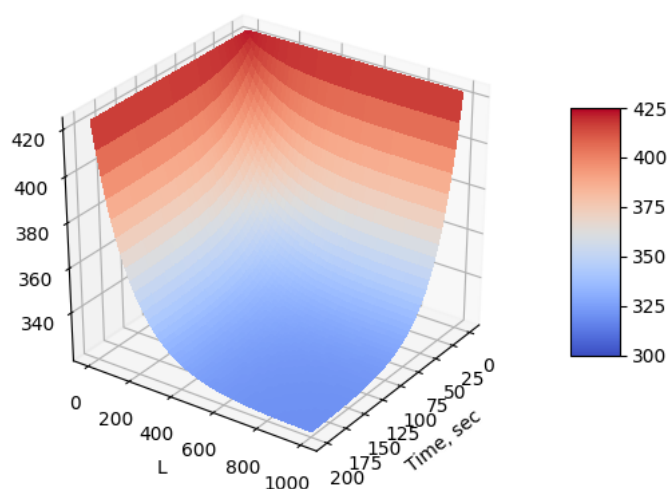


Рис. 4.4.3. Діаграма залежності температури в різних точках трубопроводу в часі з використанням ПІД регулятора

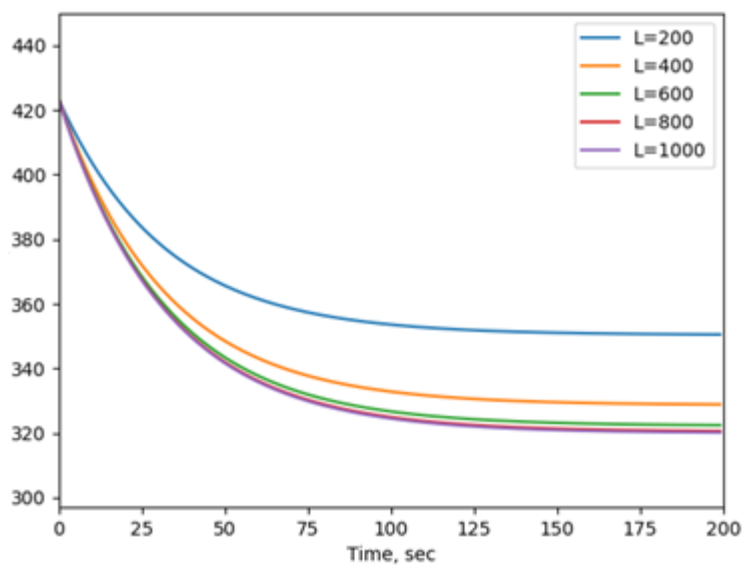


Рис. 4.4.4. Зміна температури в різних точках трубопроводу в часі з використанням ПІД регулятора

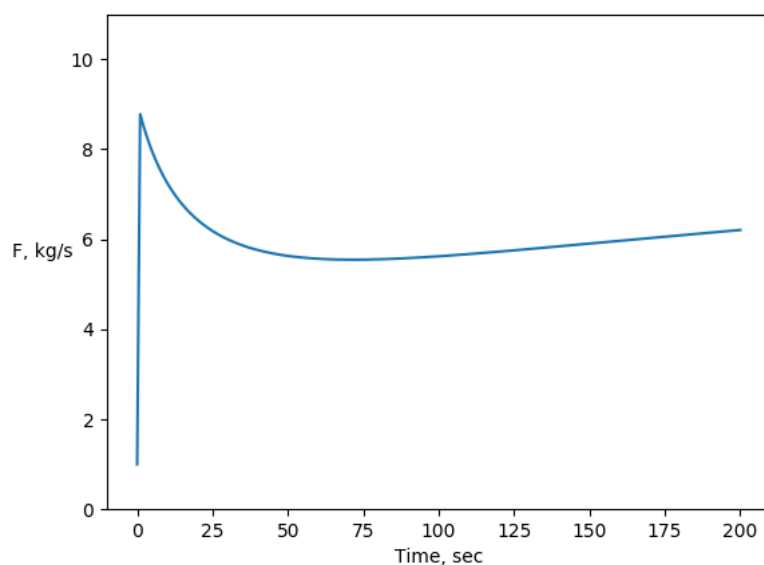


Рис. 4.4.5. Зміна витрати води (керуючого параметра) в часі за використанні ПІД регулятора

Як можна побачити на отриманих графіках ПІД регулятор виводить керований параметр на рівень 320.15 К. Статична похибка дорівнює 0.0002193 К. Процес виходить на усталене значення за 125 с.

РОЗДІЛ 5.

ОХОРОНА ПРАЦІ

Згідно чинного законодавства України про Охорону праці Закон визначає основні положення щодо реалізації конституційного права громадян на охорону їх життя і здоров'я в процесі трудової діяльності, регулює за участю відповідних державних органів відносини між власником підприємства, установи і організації або уповноваженим ним органом і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні.

Відповідно до теми дипломного проекту «Система керування конденсатором в технологічному процесі виробництва азотної кислоти».

Контроль та обслуговування технологічної лінії виробництва буде здійснювати оператор технологічного процесу з операторської кабіни (площею 15 м² та об'ємом 40 м³).

На робочому місці на оператора впливають такі виробничі фактори:

- Повітря робочої зони
- Виробниче освітлення
- Виробничий шум
- Електро небезпека
- Пожежна небезпека

5.1. Повітря робочої зони

Показниками, що характеризують мікроклімат, є:

- температура повітря;
- відносна вологість повітря;
- швидкість руху повітря.

Фактичні метеорологічні умови в операторській для роботи середньої важкості:

Таблиця 4.1 Порівняння фактичних та оптимальних умов

	Температура, °C		Відносна вологість повітря, %		Швидкість руху повітря, м/с	
	Фактичне	Оптимальне	Фактичне	Оптимальне	Фактичне	Оптимальне
Теплий період року	20-23°C	18-25°C	40-75%	35-80%	0,3 м/с	0,25-0,3 м/с
Холодний період року	15-18°C	17-19°C	40-65%	40-80%	0,2 м/с	0,15-0,2 м/с

Для того щоб забезпечити ці показники в теплий період року необхідно забезпечити операторську наявністю кондиціонерів, пристроїв для охолодження приміщення, вентиляторів, тощо. Для виконання заданих показників у холодний період року забезпечується приміщення обігрівачами, утепленням стін, вікон і дверей, батареями, іншими носіями тепла.

Отже, фактичні метеорологічні умови відповідають нормам ДСН3.3.6.042-99.

Обслуговуючий персонал допускається до роботи у встановленому нормами спецодязі та спецвзутті, зобов'язаний мати при собі справні засоби індивідуального захисту. Засоби захисту (індивідуальний протигаз) обов'язково перевіряються кожної зміни перед початком роботи.

Не допускати порушення нормального технологічного режиму на всіх стадіях процесу.

Роботи вести лише на справному обладнанні, оснащеному всіма необхідними та справно діючими запобіжними пристроями, контрольновимірювальними та регулюючими пристроями, сигналізацією та

блокуваннями. Всі контрольно-вимірювальні прилади, системи автоматики та блокування мають знаходитися в справному стані.

При виявленні якихось несправностей в роботі обладнання – своєчасно ставити до відома начальника цеху, механіка цеху. При необхідності, зупинити обладнання та підготувати його до здачі в ремонт.

5.2. Виробниче освітлення

Роботи, виконувані в операторській, зв'язані зі зняттям показань з контрольно-вимірювальної апаратури, відносяться до III розряду зорових робіт.

Приміщення не забезпечене вікнами, тому денне світло у операторській відсутнє. У темний і світлий час доби використовують штучне висвітлення. Освітленість відповідна III розряду зорових робіт при газорозрядних лампах повинна бути $E_n=250\text{Лк}$

Приймемо лампи типу світлодіодна трубчаста «ЕВРОСВЕТ 9 Вт 6400К L-600-6400-13 T8 G13» $F_{\text{л}}=600\text{ Лм}$ світловий потік світлодіодних ламп. Кількість таких ламп становить 3 штуки, термін її роботи 25 000 годин.

Поставимо три світильники, що забезпечує освітленість приміщення для даного розряду зорових робіт.

При цьому $E_{\text{факт}}=260\text{Лк}$. Освітленість приміщення відповідає нормам, відповідно до ДНБ В 25.28-2006.

5.3. Виробничий шум

Джерелами шуму є: трубопроводи, система кондиціонування, насоси та редуктори.

Рівень шуму становить:

$$L = 100 \text{ дБА.}$$

					ДП.АХТП.ЛА5121.ПЗ	Лист
						56
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Захист від шуму досягається застосуванням засобів і методів індивідуального і колективного захисту, будівельно-акустичними методами. Засоби колективного захисту діляться стосовно джерела шуму: понижуючі шум у джерелі виникнення, понижуючі шум на шляхах його поширення. По способу реалізації:

– Акустичні.

Грунтуються на акустичному вимірі помешкання і за принципом дії підбираються засоби звукоізоляції, звукопоглинання, віброізоляція, демпфірування, застосування приглушувачів шуму;

– Будівельно-акустичні методи застосовують: екрани, звукоізоляцію, кабінки спостереження, дистанційне керування, кожухи, ущільнення і т. д. Найбільше ефективні звукоізолюючі матеріали: трипласт (композиційний матеріал); пласобетони з наповненням з опилок деревини, соломи і т. д. Звуковбирні матеріали: мармур, бетон, граніт, цеглина, ДВП, ДСП, войлок, мінераловата, матеріали з щільною перфорацією;

– Архітектурно-планувальні: раціональне розміщення робочих місць; раціональний режим праці і відпочинку. Організаційно-технічні.

Активна форма захисту – генерація шуму в протифазі до джерела. Засоби індивідуального захисту: навушники, вушні вкладки, шлемофони, каски.

Для зменшення рівня шуму від трубопроводів, для них додатково передбачені комплектні шумозахисні кожухи. Завдяки усім цим заходам шумоізоляції, рівень шуму на даному об'єкті складає $L = 60$ дБА., що не перевищує допустимі значення, відповідно до ДСНЗ.3.6.037-99.

5.4. Електробезпека

Приміщення операторської відноситься до приміщень з підвищеною небезпекою по ступеню враження електричним струмом, відповідно до ПУЕІ.

Не допускається включення електрообладнання при несправному заземленні.

					ДП.АХТП.ЛА5121.ПЗ	Лист
						57
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

У операторській встановлена мережа, що працює під напругою 220/380 В, частотою 50 Гц.

Мережа з глухозаземленою нейтраллю.

Основні причини нещасного випадку від впливу електричного струму наступні:

1) ушкодження струмопровідних ліній електрокабелів, порушення ізоляції і заземлення щитів, пультів і електроустаткування;

2) порушення правил електробезпечності при експлуатації електричного устаткування і освітлення (спроби самовільного усунення несправностей, заміни світильників);

3) робота на несправному устаткуванні;

4) дотик до відкритих проводок струмоведучих частин;

5) пробій на установці (напруга дотику);

6) крокова напруга;

7) електрична дуга.

До заходів щодо захисту від поразки електричним струмом відносяться:

1. Ізоляція в електроустановках

Ізоляція - шар діелектрика, яким покривають поверхню струмоведучих елементів, або конструкція з непровідного матеріалу, за допомогою якого струмоведучі частини відокремлюються від інших частин електрообладнання.

Встановлена ізоляція таких видів:

– робоча – електрична ізоляція струмоведучих частин електроустановки, що забезпечує її нормальну роботу і захист від поразки електричним струмом;

– додаткова – електрична ізоляція, передбачена додатково до робочої ізоляції для захисту від ураження електричним струмом в разі ушкодження робочої ізоляції;

– подвійна – ізоляція, яка складається з робочої і додаткової ізоляції;

– посилена – поліпшена робоча ізоляція, яка забезпечує такий же захист від ураження електричним струмом, як і подвійна ізоляція;

– опір ізоляції 0.5 МОм.

					ДП.АХТП.ЛА5121.ПЗ	Лист
						58
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

2. Блоківки безпеки;
3. Малі напруги на переносні прилади $U=42В$;
4. Недосяжність проводів;
5. Орієнтація в електричних установках.

В аварійному режимі – занулення з автоматичним відключенням. Електробезпека на виробництві відповідає ГОСТ 12.1.030-86.

5.5. Пожежонебезпека

До цеха в трубопроводах надходять наступні горючі матеріали: аміак під тиском, природний газ під тиском. Продуктом є азотна кислота. Проаналізувавши дані матеріали, що надходять до цеха, можемо зробити висновок, що приміщення виробничого цеху згідно НАПБ Б.07.005-86 відноситься до категорії В класу зони П-1.

Основними причинами виникнення пожежі можуть бути:

- порушення елементарних правил пожежної безпеки;
- несправність електроустаткування, електромереж;
- порушення електротехнічних правил.

Для здійснення безпеки обслуговуючого персоналу при експлуатації технічних засобів автоматичної пожежної сигналізації і виконанні ремонтних робіт передбачено:

- використання пожежних оповіщувачів згідно умов їх експлуатації;
- відсутність радіоізотопних оповіщувачів;
- гучномовне оповіщення персоналу про пожежу;
- об'єктове світлозвукове оповіщення персоналу про пожежу.

Допустима відстань від самого віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу – 7,5 м. З коридору повинно бути, як правило, не менше 2-ох евакуаційних виходів. Враховуючи об'єми приміщень, категорію пожежної небезпеки виробництва і ступень вогнестійкості будівлі,

					ДП.АХТП.ЛА5121.ПЗ	Лист
						59
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

визначаємо необхідну ширину евакуаційних виходів. Для проходів – не менше 1 м, коридорів – 1,4 м, двері – 0,8 м і марші – 1,05 м, площадка сходів – 1,05 м. Висота дверей і проходів на шляхах евакуації повинна бути не менше 2 м. Двері на шляхах евакуації повинні відкриватися по напрямленню виходу з будівлі (СНиП 2.09.02-85).

Для гасіння електропроводок і електроустаткування під напругою передбачені порошкові вогнегасники САМ-6 – 2 шт та ручні порошкові вогнегасники ВП-2(ОП-2) в кількості 2 шт.

При виникненні пожежі необхідно терміново викликати пожежну охорону, відвести в безпечне місце людей і приступити до гасіння пожежі засобами пожежогасіння (вогнегасники, пісок, лопата, багор, відро), дотримуючись правил техніки безпеки.

ТС оснащується первинними засобами пожежогасіння (вогнегасники, лопата, ящик з піском, багор, відро), що розташовані на пожежному щиті. Засоби пожежогасіння повинні відповідати вимогам “Інструкції по утриманню та застосуванню засобів пожежогасіння на підприємствах”.

В тому числі приміщення захищене щогловим блискавковідводом висотою 27 м. Блискавковідвід приєднується сталевією полосією 20х4 мм до спеціального заземлювача, який складається з двох електродів довжиною 7,5 м, які з’єднуються між собою сталевією полосією 20х4 мм.

Заземлювач блискавкозахисту приєднати до існуючого контуру заземлення. Опір заземлюючого пристрою більше 100 Ом.

Приміщення операторської обладнане електричною системою датчиків оповіщувальних типу ДЛТ, з’єднаних з прийомною станцією по променевій системі. При підвищенні температури легкозаймистий шар, що з’єднує кінці двох дротів, розплавляється, розривається електричний ланцюг і спрацьовує сигналізація. Також у операторській передбачений прямий телефонний зв’язок з пожежною охороною підприємства.

Паління дозволяється у відведених для цих цілей місцях.

					ДП.АХТП.ЛА5121.ПЗ	Лист
						60
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Підходи до аварійних шаф, пожежних оповіщувачів, телефонів, пожежного інвентарю не допускається захаращувати сторонніми предметами, утримувати їх необхідно в чистоті та у справному стані.

					ДП.АХТП.ЛА5121.ПЗ	Лист
						61
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК

Після отримання завдання для бакалаврського диплому та аналізу всіх вихідних даних було сформовано систему диференціальних рівнянь для конденсатора, як об'єкта з розподіленими параметрами. Диференціальні рівняння методом кінцевих різниць перетворено в дискретну форму. Побудовано статичні та динамічні характеристики процесу. Побудовано перехідні характеристики.

Для основного каналу керування було синтезовано класичні регулятори. Проведено аналіз якості усіх синтезованих систем.

Також було розроблено заходи з охорони праці, при роботі на підприємстві, яке займається виробництвом азотної кислоти, для убезпечення працівників та уникнення аварійних ситуацій.

					ДП.АХТП.ЛА5121.ПЗ	Лист
						62
Зм..	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. *Мышкис А. Д.* Элементы теории математических моделей. — 3-е изд., испр. — М.: КомКнига, 2007. — 192 с.
2. *Самарский А. А., Михайлов А. П.* Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры. — 2-е изд., испр. — М.: Физматлит, 2001.
3. *Малин А.С., Мухин В.И.* Исследование систем управления Учебник для вузов. — М.: ГУ, 2002. — 329 с.
4. *Гайдук А. Р., Плаксиенко Е. А.* Анализ и аналитический синтез цифровых систем управления. Монография – Издательство: Лань, 2018 г.
5. *Шевяков А.А., Яковлева Р.В.* Управление тепловыми объектами с распределенными параметрами. – М.: Энергоатомиздат, 1986. - 208 с.
6. *Бутковский А.Г.* Теория оптимального управления системы с распределенными параметрами. – М.: Наука, 1965. - 474 с.